PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 14. 15. Juli 1906. 7. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 15 am 18. Juli 1906.

INHALT.

Paul Drude †. S. 481.

Originalmitteilungen:

B. B. Boltwood, Die Radioaktivität von Thoriummineralien und -Salzen. S. 482.

B. B. Boltwood, Die Radioaktivität von Radiumsalzen. S. 489.

F. Paschen, Ein kleines empfindliches Elektrometer. S. 492.

J. Elster u. H. Geitel, Ein transportables Quadrantelektrometer mit photographischer Registrierung. S. 493.

J. Elster u. H. Geitel, Luftelektrische Beobachtungen auf Mallorca während der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905. S. 496.

W. Voege, Ein neues Vakuummeter. S. 498.

R. Pohl, Bemerkung zur Arbeit des Herrn Bose: Über Widerstandsänderungen dünner Metallschichten durch Influenz. S. 500.

A. H. Bucherer, Über ein rotierendes elektromotorisches Feld. S. 502.

E. Bose, Bemerkungen zu einem thermochemischen Satze Julius Thomsens. S. 503.

G. Costanzo, Über eine neue Methode, den Ausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten zu bestimmen. S. 505.

A. Denizot, Zur Theorie des Foucaultschen Pendels. S. 507.

M. Th. Edelmann, Kontinuierliche Tonreihe aus Resonatoren mit Resonanzböden. S. 510.

Besprechungen:

H. Lorenz, Lehrbuch der technischen Physik. II. S. 511.

A. Föppl, Vorlesungen über technische Mechanik. I. u. III. S. 511.

O. Fischer, Über die Bewegungsgleichungen räumlicher Gelenksysteme. S. 512.

P. Ostmann, Ein objektives Hörmaß und seine Anwendung. S. 512.

Berichtigung. S. 512.

Personalien. S. 512.

Paul Drude †.

Am Nachmittag des 5. Juli schied, noch nicht 43 Jahre alt, Paul Drude, Professor der Physik an der Universität Berlin, aus dem Leben.

Seit dem Heimgange von H. Hertz hat der Tod keines deutschen Physikers so erschütternd gewirkt, wie dieser. Große Hoffnungen in bezug auf die Forschung, wie auf den Unterricht in unserer Wissenschaft werden mit Drude zu Grabe getragen, denn nach menschlichem Ermessen war sein Wirken noch in aufsteigender Linie, als er starb. Begabungen von ähnlich glücklicher Mischung aus tiefblickendem Eindringen, schnellem Erfassen, lebhafter Phantasie, technischem Geschick, verbunden mit einer liebenswürdigen Persönlichkeit, wie sie ihn zum Institutsleiter prädestinierten, sind keineswegs häufig, und sein Heimgang hinterläßt eine schwer auszufüllende Lücke. —

Drude erhielt seine wissenschaftliche Bildung in Berlin, Freiburg, Göttingen; an letzterer Universität bekleidete er längere Jahre die Assistentenstelle am math.-phys. Institut und hier begann er mit seiner Forschungsarbeit auf optischem Gebiete sogleich mit dem glücklichsten Erfolge. Seine Promotionsschrift (1887) über die Theorie der Reflexion des Lichtes an absorbierenden Kristallen, seine Habilitationsschrift (1889) über die Bestimmung der optischen Konstanten von Metallen, wie alle die verwandten Untersuchungen aus jenen Jahren zeigen eine für die Jugend des Verfassers seltene Reife und bezeichnen wesentliche Bereicherungen der Wissenschaft.

Die elektromagnetische Lichttheorie führte Drude zum Studium der elektrischen Schwingungen und damit auf das zweite Gebiet seiner schönsten Erfolge. Die Forschungsarbeit in dem erweiterten Aufgabenkreise beeinflußte auch seine Lehrtätigkeit; einerseits entstand das ausgezeichnete Buch „Physik des Äthers", andererseits wurden Vorlesungen und Demonstrationen über angewandte Elektrizitätslehre im Göttinger physikalischen Institut eingerichtet.

Dem rastlosen Wirken und Schaffen wollte äußerer Lohn nicht sofort blühen, und in dem deutlichen Gefühl seines Könnens litt Drude unter dem Warten vielleicht mehr, wie Andere in gleicher Lage. Erst 1894 brachte der Ruf in das Leipziger Extraordinariat für theoretische Physik die beglückende Wendung: reichliche Mittel für wissenschaftliche Forschung, günstige Gelegenheit zur Entfaltung einer großen Lehrtätigkeit und mit der gesicherten äußeren Stellung die ersehnte Möglichkeit der Gründung eines Hausstandes.

In Leipzig führte Drude seine Untersuchungen über elektrische Schwingungen weiter fort und dehnte zugleich seine Arbeiten auf das Gebiet der Elektronentheorie aus. Hier gelang ihm in der Berechnung des numerischen Verhältnisses aus thermischer und elektrischer Leitfähigkeit eine Leistung, die zu den glänzendsten zählt.

Um 1901 nahm Drude den Ruf in das physikalische Ordinariat der Universität Gießen an und in dieser Stellung, an einem gewissen Ziel angelangt, verlebte er seine glücklichsten Jahre in der Vollkraft des Schaffens, in der Anerkennung seiner Kollegen, in der Verehrung seiner Schüler, in dem Sonnenschein seines Hauses, wo ihm der beste Kamerad verständ-

nis- und liebevoll zur Seite stand und ein Kleeblatt von drei Töchtern und einem Sohn erblühte. Zahlreiche wertvolle Arbeiten auf dem Gebiet der Optik und Elektrizität sind in der Gießener Zeit entstanden, daneben auch das weitverbreitete Lehrbuch der Optik, das eine tief empfundene Lücke in glücklichster Weise ausfüllte.

In der Klarheit seines Geistes, in der Energie seines Wollens, in der Kraft seines Vollbringens, alle beschlossen in einem Körper von stählerner Elastizität und Zähigkeit erschien Drude damals als ein selten reich begnadeter Mensch. Und er dankte seinem Gießen das dort genossene Glück durch die Ablehnung der Rufe nach Tübingen, Breslau, Leipzig.

Da wurde 1905 durch Warburgs Rücktritt die Berliner Stelle frei, und Fakultät, wie Unterrichtsverwaltung drangen in Drude wegen der Übernahme derselben. Kollegen, die von seiner Begabung wie von seiner ungeheuren Arbeitskraft überzeugt waren, redeten zu. Drude folgte widerstrebend, aber in dem Gefühl einer zu erfüllenden Pflicht mit festem Willen und in der Hoffnung des Gelingens. Anfangs schien sein energisches und hingebendes Arbeiten erfolgreich, aber dem Übermaß von Anstrengung, den zahllosen Friktionen eines großen Betriebes und der Ruhelosigkeit des Großstadttreibens gegenüber hielten seine Nerven nicht stand. Was für Kämpfe und Qualen der Ärmste in den letzten Monaten durchgemacht hat, ahnte niemand, — erst die Verzweiflungstat, durch die er ihnen ein Ziel setzte, offenbarte, was er gelitten hat.

Es liegt eine tiefe Tragik in diesem Ausgang dieser freudig aufwärts strebenden Natur. Höher und höher steigt sie, Ikarus gleich, der Sonne zu — da lösen sich die Schwingen und ein zerschmetternder Sturz endet den stolzen Flug.

W. Voigt.

(Eingegangen 7. Juli 1906.)

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Die Radioaktivität von Thoriummineralien und -Salzen.[1])

Von Bertram B. Boltwood.

Die Radioaktivität des Elementes Thorium hat vielfache Diskussionen hervorgerufen und zu vielen anscheinend widersprechenden Angaben in der Literatur Anlaß gegeben. Nach den ursprünglichen Behauptungen seitens Schmidt[2]) und Frau Curie[3]), daß die Thoriummineralien und -Salze radioaktive Eigenschaften besäßen, veröffentlichten Hofmann und Strauß eine Arbeit[4]), in der sie angaben, daß sie eine inaktive Thoriumverbindung aus einer Probe des Minerals Euxenit abgeschieden hätten. In einer Arbeit von Hofmann und Zerban[5]) wurde später darauf Anspruch gemacht, daß aus einem brasilianischen Monazitsand ein negatives Thoriumpräparat hergestellt worden wäre und daß die aus Bröggerit, Cleveit und Samarskit ausgeschiedene Thoriumerde zwar gleich nach ihrer Herstellung aktiv wäre, aber einige Monate nach ihrer Abscheidung aus den Mineralien ihre Aktivität verloren hätte. Hierbei machten dieselben Verfasser in einer anderen Arbeit[1]) darauf Anspruch, daß sie ganz inaktives Thoriumoxyd aus einer Probe norwegischen Gadolinits abgeschieden hätten. Es ist ferner von Baskerville und Zerban[2]) behauptet worden, daß eine neue Quelle aktiven Thoriums in einem Gestein aus Südamerika vorgefunden worden wäre. In anscheinendem Widerspruch zu dem Obigen steht dann die Behauptung von Rutherford und Soddy[3]), daß gewöhnliches, käufliches Thoriumnitrat und das reinste erhältliche Thoriumnitrat gleiche Mengen von Thorium *X* ergeben hätten und die Angaben von Strutt[4]), daß er imstande gewesen wäre, meßbare Mengen von Thoriumemanation aus den Lösungen aller thoriumhaltigen Mineralien zu erzielen und zwar sowohl aus Euxonit als aus einer großen Anzahl anderer von ihm untersuchter; ferner die Angaben von Frau Curie und einer Anzahl anderer Forscher, die in allen Fällen bei den von ihnen untersuchten Thoriummineralien radioaktive Eigenschaften entdeckt hatten.

Die von Hahn gemachte Angabe[5]), daß er aus gewissen aus dem Thorianitmineral ausgeschiedenen Rückständen ein hochradioaktives Präparat erzielt hätte, das viele Tausend mal

1) Die allgemeinen Ergebnisse und Schlußfolgerungen, zu denen ich in vorliegender Arbeit gelangt bin, sind vor einer Versammlung der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft vorgetragen worden, die in New York am 24. Februar 1906 stattgefunden hat.

2) Wied. Ann. **65**, 141, 1898.
3) Compt rend. **126**, 1101, 1898.
4) Ber. d. chem. Ges. **33**, 3126, 1900.
5) Ber. **35**, 531, 1902.

1) Ber. **36**, 3093, 1903.
2) Journ. Am. Chem. Soc. **26**, 120, 1902.
3) Proc. Chem. Soc. **18**, 120, 1902.
4) Proc. Roy. Soc. Lond. A. **76**, 88 und 312, 1905.
5) Proc. Roy. Soc. Lond. A. **76**, 115, 1905.

aktiver wäre als gewöhnliches Thorium und das eine verhältnismäßig größere Menge der charakteristischen Thoriumemanation aussandte, schien zunächst die Frage der Radioaktivität gewöhnlicher Thoriumsalze noch weiter zu verwickeln. Hahn hat jedoch die Vermutung ausgesprochen[1]), daß dieser neue radioaktive Körper, der Radiothorium genannt worden ist, selbst ein Zerfallsprodukt gewöhnlichen Thoriums wäre. Wenn diese Vermutung zutrifft, so ist zu erwarten, daß bei natürlichen, Thorium enthaltenden Mineralien die Muttersubstanz und ihre Produkte einen Zustand radioaktiven Gleichgewichts erreicht haben und daß die gesamte Aktivität des Thoriums und seiner Produkte proportional zu dem absoluten Betrag des vorhandenen Thoriumelements sein wird.

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Versuche wurden in der Absicht unternommen, den Betrag der gesamten α-Strahlenaktivität der radioaktiven Mineralien zu bestimmen, der von dem vorhandenen Thorium erzeugt wird; ferner sollte festgestellt werden, ob die auf Rechnung von Thorium zu setzende Aktivität in allen Fällen proportional zu dem jeweilig in dem betreffenden Mineral vorhandenen Betrage dieses Elementes wäre.

Zusammensetzung der Mineralien. Die bei diesen Versuchen benutzten Mineralien waren Thorianit, Thorit, Orangit und Monazit. Die Bestimmung des Prozentgehaltes an Thoriumoxyd wurde bei den einzelnen Mineralien in folgender Weise ausgeführt: das Thorianit wurde in konzentrierter Salpetersäure und das Thorit und Orangit in verdünnter Salzsäure aufgelöst. Die Lösungen wurden zur Trockenheit verdampft und die Rückstände erhitzt, um die Kieselerde unlöslich zu machen. Die Rückstände wurden hierauf mit konzentrierter Salzsäure angefeuchtet, kochendes Wasser hinzugefügt und nach kurzem Digerieren die unlöslichen Teile aus den Lösungen durch Filtrieren entfernt. Die Filtrate wurden dann wieder zur Trockenheit verdampft, die Rückstände mit einigen Tropfen Salzsäure und hierauf mit einer kleinen Menge Wasser behandelt und die auf diese Weise erzielten Lösungen filtriert, um Spuren von ausgeschiedener Kieselerde zu entfernen. Die Lösungen wurden abgekühlt und verdünnt und hierauf mit einem Überschuß von Schwefelwasserstoff behandelt, die niedergeschlagenen Sulfide abfiltriert, die Filtrate gekocht, um den Überschuß an Schwefelwasserstoff zu entfernen und in kochende Lösungen abgegossen, die einen beträchtlichen Überschuß an Oxalsäure enthielten. Die gemischten Lösungen ließ ich hierauf bei gewöhnlicher Temperatur stehen und sammelte nach Verlauf von 24 Stunden die Niederschläge von Oxalaten der seltenen Erden auf Filtern. Die Oxalate wurden in Nitrate überführt und der Überschuß an Salpetersäure aus der Lösung durch Verdampfen entfernt. Eine in der Kälte gesättigte Lösung von Ammoniumoxalat wurde dann hergestellt und hiervon einzelne Portionen mit einem beträchtlichen Überschuß an Salz über den zum Ausfällen aller seltenen Erden als Oxalate erforderlichen Betrag ausgemessen. Diese Portionen Ammoniumoxalatlösung wurden zum Kochen erhitzt und die verdünnten kochenden Lösungen der neutralen Nitrate der seltenen Erden bei fortwährendem Umrühren in sie hineingegossen. Die gemischten Lösungen wurden dann mit Wasser auf den doppelten Wert ihres Anfangsvolumens verdünnt und in der Kälte 48 Stunden lang stehen gelassen; dann wurden die zur Bildung gelangten Ausfällungen entfernt, in neutrale Nitrate umgewandelt und wiederum der Behandlung mit einem Überschuß von Ammoniumoxalat unterworfen. Die zweite Ausfällung an seltenen Erden ohne Thorium wurde abfiltriert und die beiden Ammoniumoxalatlösungen zusammengebracht, zum Kochen erhitzt und ein Überschuß an Salzsäure hinzugefügt. Hierauf ließ ich die Lösungen bei gewöhnlicher Temperatur 48 Stunden lang stehen, sammelte das ausgefällte Thoriumoxalat auf einem Filter und glühte es aus, um das Oxalat in Oxyd umzuwandeln.

Der fein pulverisierte Monazit wurde mit Schwefelsäure in einer Platinschale, das erhaltene Präparat mit Eiswasser und der unlösliche Teil wiederum mit Schwefelsäure behandelt. Nachdem ich den in eiskaltem Wasser löslichen Teil entfernt hatte, wurde die übrigbleibende unlösliche Masse zum dritten Male mit heißer Schwefelsäure behandelt; dann blieb ein Rückstand, der 3 Proz. des ursprünglichen Minerals ausmachte und der nicht mehr von Schwefelsäure angegriffen wurde. Die wässrigen Lösungen wurden zusammengetan und mit Ammoniak stark alkalinisch gemacht; der Niederschlag an Phosphaten wurde entfernt und nachdem die Sulfate ausgewaschen waren, in Salpetersäure aufgelöst. Die verdünnte salpetersaure Lösung wurde zum Sieden erhitzt und in eine siedende Lösung gegossen, die einen Überschuß von Oxalsäure enthielt. Nach 24 Stunden wurde die Oxalatausfällung entfernt, die Oxalate wurden in Chloride verwandelt und die Ausfällung seltener Erden in der Form von Oxalaten wiederholt. Der zweite Niederschlag von Oxalaten wurde in Chloride umgewandelt und zu der verdünnten siedenden Chloridlösung ein Überschuß von Natriumthiosulfat gefügt. Die Lösung wurde etwa 20 Minuten lang gekocht, bis man in dem Dampfe keinen Geruch von Schwefelsäure mehr entdecken konnte.

1) Jahrb. d. Radioaktivität **2**, 233, 1905.

Hierauf wurde der Niederschlag von der Lösung abgetrennt, mit warmer verdünnter Salzsäure behandelt, der Überschuß an Schwefel entfernt und nachdem der Überschuß an Salzsäure zum großen Teil mit Ammoniak neutralisiert worden war, die Behandlung mit Natriumthiosulfat wiederholt. Der zweite Niederschlag wurde sodann mit warmer verdünnter Salzsäure behandelt, die erhaltenen Chloride in die neutralen Nitrate umgewandelt und die Nitratlösung zweimal mit einem Überschuß an Ammoniumoxalat in derselben Weise behandelt, wie dies bei Thorit und Thorianit beschrieben worden ist. Das Thorium wurde schließlich in der Form von Oxyd ausgewogen. Die seltenen Erden wurden sämtlich aus den einzelnen Lösungen zurückgewonnen, die bei obiger Reihe von Prozessen erhalten worden waren und auf Ausscheidung von allem Thorium, das bei der ersten Behandlung hätte durchgeschlüpft sein können, nochmals behandelt. Hierbei wurde jedoch nur ein unerheblich kleiner Betrag von Thorium gewonnen. Die Schwefelrückstände aus den von dem Natriumthiosulfat gebildeten Niederschlägen wurden gleichfalls, allerdings mit negativen Ergebnissen, auf Spuren von Thoriumerde untersucht. Genau 10 Gramm Monazit wurden für die Analyse gewählt.

Das in allen Fällen schließlich erhaltene Thoriumoxyd war nach intensivem Ausglühen über der Gebläselampe vollkommen weiß. Der Prozentgehalt der Mineralien an Uran wurde bei Thorianit durch direkte Analyse bestimmt, die nach der von mir früher beschriebenen Methode ausgeführt wurde.[1]) Bei den anderen Mineralien und auch bei Thorianit wurde das vorhandene Uran indirekt durch Vergleich der in den Mineralien erzeugten Beträge Radiumemanation mit der Menge Emanation bestimmt, die an einer normalen, analysierten Uranitprobe erzeugt wurde.[2]) Bei Thorianit befanden sich die nach diesen beiden unabhängigen Methoden erzielten Ergebnisse in vorzüglicher Übereinstimmung.

Die Radioaktivität der Mineralien.

Die Radioaktivität der einzelnen Mineralien wurde nach einer Methode bestimmt, die der bereits von Mc Coy beschriebenen sehr ähnlich war.[3]) Die Mineralien wurden mit destilliertem Chloroform in einem Achatmörser zu einem feinen Pulver gestampft. In der Form einer dünnen Pasta mit Chloroform wurde das Pulver dann mit einem Kamelhaarpinsel auf eine dünne Aluminiumplatte aufgetragen. Die Aluminiumplatten waren 7,5 cm breit, 9 cm lang und annähernd 0,1 mm dick und wogen je ungefähr 2 Gramm. Nachdem das Chloroform verdampft war, war es möglich, mit beträchtlicher Genauigkeit die auf Rechnung des Films kommende Gewichtszunahme zu bestimmen. Um die Notwendigkeit zu vermeiden, mit Bezug auf die Absorption der Strahlen durch die Substanz selbst Korrektionen anzubringen[1]), wurden die Films sehr dünn gemacht; sie besaßen ein Gewicht von nur etwa 5 Milligramm Material auf einer Fläche von 60 qcm. Die auf Rechnung der Strahlenabsorption kommenden Fehler waren dann sehr gering und fielen innerhalb des Fehlerbereiches der anderen Messungen. Es wurde festgestellt, daß die Aktivitäten von Films von annähernd gleichem Gewicht, die aus demselben Material nach der obigen Methode hergestellt waren, sich in guter Übereinstimmung miteinander befanden und daß bei Films von bis 10 Milligramm Gewicht die Aktivitäten sehr angenähert proportional zu dem Gewicht der Substanz verliefen.

Die durch die Films erzeugte Ionisierung wurde in zwei verschiedenen Elektroskopen gemessen und zwar in einem kleineren mit einer Ionisierungskammer von 16 cm Länge, 9,5 cm Breite und 7 cm Höhe mit einer geladenen Platte von 13 cm Länge und 5 cm Breite, die 3,5 cm von dem Boden entfernt aufgehängt war und einem größeren Elektroskop mit einer Ionisierungskammer von 15 zu 19 cm Durchmesser und 14 cm Höhe, mit einer kreisförmigen Platte von 7,5 cm Durchmesser in einer Entfernung von 9,5 cm vom Boden. Die Elektroskope sind in der nächstfolgenden Arbeit (Seite 490) genau beschrieben.

Die Berechnung der Thoriumaktivität.

Nach dem Gewicht des in einem gegebenen Film enthaltenen Minerals und der entsprechenden im Elektroskop gemessenen Aktivität ist es ein leichtes, die Aktivität von einem Gramm des Minerals als Funktion des Fallens des Goldblattes in Skalenteilen pro Minute zu berechnen. Mc Coy[2]) hat festgestellt, daß bei Uranmineralien, die kein Thorium enthalten, die gesamte Aktivität direkt proportional zu der Menge des vorhandenen Urans ist und die vom Verfasser an einer Reihe von Uranmineralien angestellten Versuche haben zu einer ähnlichen Schlußfolgerung geführt, vorausgesetzt, daß man Korrektionen in bezug auf den Betrag der Radiumemanation anbringt, die aus den Mineralien entweichen, wenn diese sich in fein gepulvertem Zustande befinden. Deswegen be-

1) Boltwood, Phil. Mag. (6) **9**, 603, 1905.
2) Boltwood, loc. cit.
3) Journ. Am. Chem. Soc. **27**, 391, 1905; Phil. Mag. (6) **11**, 176, 1906.

1) Mc Coy, loc. cit.
2) Phil. Mag. (6) **11**, 176, 1906.

stehen zwei Methoden zur Berechnung der durch Thorium verursachten Aktivität bei einer Reihe von Mineralien, die sowohl Thorium als auch Uran enthalten. Die eine dieser Methoden besteht darin, daß man nach der Messung eines nur Uran enthaltenden Minerals die Aktivität bestimmt, die einem Gramm Uran mit seinen aktiven Zerfallsprodukten entspricht. Wenn man diese Werte kennt, so ist es ein leichtes, von der Aktivität eines Uranthoriumminerals von bekannter Zusammensetzung den Teil der Aktivität abzuziehen, der auf Rechnung von Uran und Zerfallsprodukten kommt. Wenn keine anderen radioaktiven Körper als Thorium zugegen sind, so kommt die übrige Aktivität nur auf Rechnung von Thorium und seinen Produkten, und wenn man diese durch das in Grammen ausgedrückte Gewicht des vorhandenen Thoriums dividiert, so erhält man die Aktivität des Thoriums pro Gramm. Die andere Methode zur Berechnung der Aktivität von Thorium besteht darin, daß man nach algebraischen Methoden die Gleichung löst, die man durch die Ausmessung zweier oder mehrerer verschiedener Thoriumuranmineralien erhält; diese Gleichungen besitzen die Form

$$a\,U + b\,Th = C,$$

woselbst a das in einem Gramm des Minerals vorhandene Gewicht an Uran, b das in der gleichen Menge enthaltene Thoriumgewicht und C die gesamte Aktivität von einem Gramm des Minerals ist. Diese zweite Methode ist nur anwendbar, wenn die Aktivität von Thorium konstant ist.

Die in vorliegender Arbeit angegebenen Resultate wurden nach der ersten Methode berechnet. Die einem Gramm Uran und Zerfallsprodukten in einem Mineral entsprechende Aktivität, das seine gesamte Radiumemanation noch besitzt, wurde für beide Elektroskope[1]) bestimmt; der Teil der Aktivität der Thoriummineralien, der auf Rechnung des Urans kommt, wurde abgezogen und der Rest durch das Gewicht des Thoriumoxyds pro Gramm Mineral dividiert. Die auf diese Weise erhaltene Zahl stellte die Aktivität eines Gramms Thorium in den Mineralien dar. Die gesamten erzielten Resultate sind in der folgenden Tabelle (Tabelle I) gegeben. Die Aktivitäten sind als Funktionen des Zusammenfallens des Goldblattes in Skalenteilen pro Minute augegeben. Die in gewöhnlichen Typen gedruckten Zahlen beziehen sich auf die Messungen mit dem kleineren Elektroskop und die in Fettdruck auf die an dem größeren Elektroskop ausgeführten. (Siehe Tabelle I.)

Aus den in der letzten Spalte gegebenen Zahlen ist zu ersehen, daß die Aktivität eines Gramms Thoriumoxyd bei den vier verschiedenen Mineralien um weniger als 1 Proz. variierte, wenn sie mit dem kleineren Elektroskop bestimmt wurde und um nicht mehr als 2 Proz. von dem Durchschnittswert abwich, wenn sie in dem größeren Elektroskop untersucht wurde. Diese Abweichung liegt innerhalb der Fehlergrenzen der einzelnen Messungen.

Es ist daher augenscheinlich, daß bei den vier untersuchten Mineralien die Aktivität des Thoriums pro Gramm oder, wie wir sie nennen wollen, die spezifische Thoriumaktivität konstant war. Der Unterschied gegenüber der spezifischen Aktivität, die an dem kleineren Elektroskop bestimmt wurde, rührt zum Teil von der größeren Empfindlichkeit des größeren Instruments und zum Teil von dem Umstand her, daß man in dem größeren Ionisierungsgefäß eine vollkommenere Ionisierung erzielen konnte, als in dem kleineren. Bei dem kleineren Elektroskop wird ein Teil der α-Teilchen von größerer Reichweite durch die Wände und die geladene Platte aufgehalten, bevor sie das Ende ihres freies Weges in Luft erreichen; deswegen ist auch nicht die maximale Ionisierung erzielt. Dies geht aus dem Werte des Verhältnisses der Aktivitäten der Films in dem kleineren Elektroskop zu den Aktivitäten derselben Films in dem größeren Elektroskop hervor; dieser Wert betrug bei den Thoriummineralien annähernd 1,8, während dasselbe Verhältnis bei einem Film von reinem Uranoxyd nur 1,6 aus-

1) Die experimentelle Bestimmung dieses Faktors soll in einer späteren Arbeit beschrieben werden.

Tabelle I.

Mineral	Prozentgehalt an Uran	Prozentgehalt an ThO_2	Aktivität pro Gramm des Minerals: Gesamtbetrag	Auf Rechnung von Uran	Auf Rechnung von Thorium	Aktivität pro Gramm ThO_2
Thorianit, Ceylon	11,2	78,8	85 **153**	35 **59**	50 **93**	63 **118**
Thorit, Norwegen	0,4	52,0	34 **62**	1 **2**	33 **60**	63 **115**
Orangit, Norwegen . . .	9,4	51,1	63 **108**	30 **50**	33 **58**	64 **114**
Monazit, N. Carolina . . .	0,35	4,66	4,1 **7,1**	1,1 **1,8**	3,0 **5,3**	64 **113**

machte. Dies weist darauf hin, daß die durchschnittliche Reichweite der α-Teilchen des Thoriums größer als die Durchschnittsreichweite der α-Teilchen von Uran ist.

Die Radioaktivität von Thoriumsalzen.

Um festzustellen, ob die Aktivität von Thoriumsalzen, die aus verschiedenen Mineralien nach verschiedenen Methoden ausgeschieden worden waren, pro Gramm Thorium dieselbe wie die spezifische Aktivität des in den Mineralien enthaltenen Thoriums war, wurden folgende Salze untersucht:

1. Eine etwa 18 Gramm betragende Portion reinen Thoriumoxyds, die durch Behandlung einer Quantität alter abgenutzter Gasglühlichtstrümpfe von verschiedener Herkunft erhalten worden war. Der Staub der Glühstrümpfe war mit Schwefelsäure behandelt worden, um die Erden in Sulfate umzuwandeln und die Sulfate in verdünnter Lösung waren mit Oxalsäure als Oxalate ausgefällt worden. Das Thorium der Oxalate wurde dann durch Auskochen mit einer starken Lösung Ammoniumoxalat ausgezogen, die Lösung bedeutend verdünnt und hierauf in der Kälte 48 Stunden lang stehen gelassen. Dann wurden die unlöslichen Oxalate abfiltriert. Das Thorium wurde aus dem Filtrat durch Zufügung von Salzsäure zur kochenden Lösung als Oxalat ausgefällt und das Oxalat durch intensives Ausglühen über der Gebläseflamme in Oxyd umgewandelt. Das so erhaltene Oxyd war rein weiß.

2. Eine Portion von einer Menge (1 Kilo) Thoriumnitrat, welche ich von der Welsbach Light Co. erhalten hatte. Einige Gramm dieses Nitrats wurden in Wasser aufgelöst und das Thorium als Hydroxyd ausgefällt, das dann durch intensives Ausglühen über der Gebläseflamme in Oxyd umgewandelt wurde. Das Nitrat war von der Welsbach Co. nach ihrem gewöhnlichen Verfahren aus North Carolina-Monazitsand hergestellt worden.

3. Thoriumoxyd, hergestellt aus demselben Material wie Nr. 2. Ein Teil des Nitrats wurde in das hydratisierte kristallinische Sulfat

$$Th(SO_4)_2 \cdot 9\,H_2O)$$

umgewandelt. Einige kleine vollkommen klare Kristalle wurden ausgewählt und durch starkes Ausglühen über der Gebläseflamme in Oxyd umgewandelt.

4. Ein Teil des unter 2. erwähnten Nitrats wurde in Sulfat ohne Wassergehalt umgewandelt, die Lösung des Sulfats in kaltem Wasser erwärmt und eine gewisse Menge des sogenannten „basischen" Thoriumsulfats ausgeschieden. Diese wurde dann auf hohe Temperatur ausgeglüht, um das Oxyd darzustellen.

5. Thoriumoxyd, das aus Thorianit nach der analytischen Methode hergestellt war, die ich an früherer Stelle in vorliegender Arbeit beschrieben habe. Das Mineral war zunächst in konzentrierter Salpetersäure aufgelöst worden.

6. Thoriumoxyd, das aus Thorianit dargestellt worden war. Das Mineral war durch Schmelzen mit Natriumbisulfat zersetzt worden; die Thoriumsalze waren durch Umwandeln in das doppelte Ammoniumoxalat wie bei Nr. 5 gereinigt worden.

7. Thoriumoxyd, erhalten aus North Carolina-Monazit nach dem bei der Analyse des Minerals beschriebenen Verfahren.

8. Thoriumoxyd, geliefert von Herrn H. S. Miner, Chemiker der Welsbach Light Co.; wie besagter Herr angab, war es von ihm aus Monazitsand nach den gewöhnlichen analytischen Methoden dargestellt worden, bei denen das Thorium aus den anderen seltenen Erden durch wiederholtes Ausfällen mit Natriumthiosulfat ausgeschieden wird.

Alle hier erwähnten Oxydproben waren wenigstens einen Monat vor dem Zeitpunkte der Vornahme der in der Tabelle angegebenen Messungen hergestellt worden. Alle waren bei ihrer Herstellung der höchsten Temperatur der Gebläseflamme ausgesetzt worden.

Tabelle II.

No.	Herkunft des Oxyds	Aktivität pro Gramm Oxyd	
		Kleines Elektroskop	Großes Elektroskop
1	Glühstrumpfstaub . .	28	50
2	Welsbach-Nitrat . .	23	41
3	" . .	26	46
4	" . .	28	49
5	Thorianit	75	124
6	"	66	116
7	N. C.-Monazit	63	113
8	Minersches Oxyd . .	62	110

Die Aktivitäten der Oxyde wurden an dünnen Films in genau gleicher Weise wie die Aktivitäten der Mineralien bestimmt.

Von Wichtigkeit ist es, den Umstand zu erwähnen, daß die Frage des Ausstrahlungsvermögens sowohl der natürlichen Mineralien als der hier beschriebenen ausgeschiedenen Thoriumoxyde sorgfältig berücksichtigt worden war. Die Mineralien waren ganz besonders wegen ihres unbedeutenden Emanationsvermögens sowohl in bezug auf Radium als in bezug auf Thoriumemanation gewählt worden; im Höchstfalle betrug dieses nicht mehr als 1 Proz. Rutherford[1]) hat dargetan, daß das Emanationsvermögen gewöhnlicher Thoriumerde durch Erhitzen der Substanz auf Weißglut bedeutend vermindert wird. Die bei vorliegender Untersuchung zur Verwendung kommenden Oxyde wurden sämtlich in einem Platintiegel

1) Diese Zeitschr. **2**, 429, 1901.

auf die höchste Glut der Gebläseflamme erhitzt. Mehrere Hundert mal so große Mengen als die Gewichte der benutzten Films wurden auf ihre Emanation untersucht, indem ich sie 24 Stunden lang in einem geschlossenen Gefäß mit einer negativen, auf etwa 400 Volt geladenen Platte in einer Entfernung von etwa einem Zentimeter über ihnen anbrachte. Die Platte wurde hierauf im Elektroskop untersucht, aber kein Beweis für einen aktiven Niederschlag erhalten. Die Oxyde waren daher durchaus emanationslos.

Besprechung der Ergebnisse.

Die nach den Messungen der Aktivität der ausgeschiedenen Thoriumoxyde erhaltenen Ergebnisse weisen auf eine Anzahl interessanter Umstände mit Bezug auf die Aktivität des Thoriums hin. Die aus den käuflichen Thoriumsalzen Nr. 1—4 erhaltenen Oxyde waren gleichmäßig ungefähr die Hälfte aktiv wie die aus den natürlichen Thoriummineralien ausgeschiedenen oder in ihnen enthaltenen Oxyde. Da die Quelle der käuflichen Thoriumsalze Monazitsand ist und da bewiesen ist, daß das Thorium in diesem Mineral und in den aus ihm nach gewissen näher angegebenen analytischen Methoden hergestellten Salzen von normaler Aktivität ist, so ist es einleuchtend, daß die chemische Behandlung, der die käuflichen Salze unterworfen wurden, die Abscheidung von etwa der Hälfte ihrer radioaktiven Bestandteile zur Folge hat. Wenn man annimmt, daß die Aktivität der Thoriumsalze auf Rechnung des Vorhandenseins von Radiothorium und seinen Zerfallsprodukten kommt, so muß man annehmen, daß bei den Salzen von niedrigerer Aktivität ungefähr die Hälfte des gesamten in dem Mineral vorhandenen Radiothoriums aus diesen Salzen ausgeschieden worden ist. Nach den von Hahn[1]) gegebenen Daten sollte man annehmen, daß bei der Abscheidungsmethode, nach der sein Radiothorium erhalten worden war, nicht mehr als höchstens 2 Proz. des gesamten Radiothoriums aus dem Mineral ausgeschieden worden war. Das industrielle Verfahren der Herstellung reiner Thoriumsalze ist daher weit wirksamer in bezug auf die Abscheidung von Radiothorium.[2])

Der Umstand, daß die spezifische Aktivität des in den Mineralien vorhandenen Thoriums sich konstant erwies, stützt ganz erheblich die Theorie, daß Radiothorium ein Zerfallsprodukt gewöhnlichen Thoriums ist. Es dürfte ganz unmöglich sein, die Übereinstimmung nach irgendeiner anderen Annahme zu erklären.

Die in vorliegender Arbeit angegebenen Daten haben auch unmittelbare Bedeutung für die von Hofmann und Zerban[1]) gemachte Behauptung, daß die Aktivität des in einem Mineral enthaltenen Thoriums von der in diesem vorhandenen Menge Uran abhängig ist. Es besteht eine erhebliche Verschiedenheit in bezug auf den Urangehalt der beiden Mineralien Thorianit und Thorit; ersteres enthält nämlich fast 18 mal mehr Uran pro Gramm Thoriumerde als letzteres; wie aber in der Tabelle angegeben, ist die spezifische Aktivität des Thoriums bei beiden Mineralien dieselbe. Dies gilt auch für das Thorium im Orangit und Thorit. Von Interesse ist es, zu erwähnen, daß Herr Dr. Zerban so liebenswürdig war, dem Verfasser eine Probe von 100 Gramm Gadolinit aus Saetersdalen, Norwegen, zu schicken, das dem von Hofmann und Zerban untersuchten gleichen soll. Das Mineral war schwach, aber doch durchaus meßbar radioaktiv, entsandte kleine Mengen Radiumemanation (die etwa 0,01 Proz. Uran entsprachen), wenn es in der Säure aufgelöst wurde, und bei weiterer Bearbeitung lieferte es eine kleine Menge Thoriumoxyd von annähernd normaler Aktivität. Dieselben Ergebnisse wurden an Gadolinit aus Llano County, Texas, und an derselben Art Mineral aus Ytterby, Schweden, erzielt. Bei den veröffentlichten Schriften von Hofmann und Zerban weist nichts darauf hin, daß dem Aktinium der Mineralien, an denen Untersuchungen angestellt wurden, irgendwie Rechnung getragen worden wäre. Dieses radioaktive Element begleitet stets das ausgeschiedene Thorium und bei dem aus Mineralien mit viel Uran- und wenig Thoriumgehalt abgeschiedenen Thoriumoxyd kann die auf Rechnung des Aktiniums kommende Aktivität weit größer als die durch das vorhandene Thorium erzeugte sein. So zeigt es sich z. B., daß die aus einer Probe North Carolina Uraninit ausgeschiedene Thoriumerde, die 1,5 Proz. ThO_2 und 68 Proz. Uran enthielt, 40 Tage nach ihrer Ausscheidung eine Aktivität besaß, die bei der Messung an dem kleineren Elektroskop mehr als als 550 Teilstriche pro Minute oder fast die zehnfache normale Aktivität betrug. Eine Lösung von 10 Gramm von diesem Mineral wurde jedoch von Herrn Dadourian untersucht, der die Methode der induzierten Aktivität (siehe Seite 453 dieser Zeitschrift) zur Bestimmung der Aktivität

1) Loc. cit.

2) Mehrere Pfunde der nach der Behandlung von Monazit mit konzentrierter Schwefelsäure erzielten Rückstände waren mir in liebenswürdiger Weise von der Welsbach Light Company zur Verfügung gestellt worden. Diese Rückstände wurden auf das Vorhandensein von Radium und Radiothorium hin untersucht, in bezug auf beide Substanzen aber so ziemlich negative Ergebnisse erzielt. Die in den Rückständen zurückbleibenden Mengen dieser Elemente können daher höchstens einen Bruchteil eines Prozents der in dem ursprünglichen Mineral enthaltenen Mengen ausgemacht haben

1) Loc. cit.

von aufgelöstem Thorium benutzte; die auf diese Weise bestimmte Thoriumaktivität zeigte sich normal. Alle zurzeit zu Gebote stehenden Angaben weisen auf die Schlußfolgerungen hin, daß die in dem radioaktiven Mineral vorhandene Menge Aktinium zu der in demselben Mineral enthaltenen Uranmenge proportional ist; die Meinung des Verfassers ist die, daß die von Hofmann und Zerban erzielten Ergebnisse diese Schlußfolgerung einfach stützen und keinerlei unmittelbare Bedeutung für die Frage der Aktivität von Thorium und Thoriumverbindungen besitzen. In der Tabelle auf Seite 486 dieser Zeitschrift (Tabelle II) ist der hohe, für die Aktivität des aus Thorianit Nr. 5 abgeschiedenen Thoriumoxyds erhaltene Wert zweifellos dem Vorhandensein von Aktinium in der Verbindung zuzuschreiben. Bei dem Oxyd Nr. 6 war der größte Teil des Aktiniums aus dem Thorium bei einem Stadium der chemischen Behandlung abgeschieden worden.

Von Wichtigkeit ist es, einen gewissen Umstand in bezug auf die chemischen Eigenschaften von Radiothorium zu erwähnen. Besonderen Nachdruck hat Ramsay[1]) auf die Behauptung gelegt, daß das Oxalat von Radiothorium in einem Überschuß von Ammoniumoxalat unlöslich ist. Es ist schon von Frau Curie[2]) darauf hingewiesen worden, daß die chemischen Eigenschaften eines radioaktiven Elementes sich nicht mit Sicherheit aus den Versuchen bestimmen lassen, die an einem Gemisch einer kleinen Menge des aktiven Elementes mit sehr großen Beträgen einer neutralen Substanz ausgeführt werden. Der Verfasser hat dies besonders bei Aktinium bestätigt gefunden, das dann, wenn es aus einem Thorium und andere seltene Erden enthaltenden Mineral abgeschieden wird, das Thorium bei den aufeinanderfolgenden chemischen Prozessen, auch bei der Gewinnung des Thoriumoxalats aus einer Mischung von Oxalaten seltener Erden durch eine Ammoniumoxalatlösung beständig begleitet, das aber dann, wenn es (als „Emanium") aus einem Mineral ohne Thoriumgehalt ausgeschieden wird, das Lanthan ebenso hartnäckig begleitet, wenn dieses Element in dem ursprünglichen Mineral zugegen ist oder seiner Lösung zugefügt wird und daß es ungelöst bleibt, wenn das Lanthanoxalat mit einer kochenden Ammoniumoxalatlösung behandelt wird. Ähnliche Verhältnisse scheinen für Radiothorium zu gelten; wenn es von Thorium begleitet wird, ist sein Oxalat in einer Lösung von Ammoniumoxalat leicht löslich. Die Unlöslichkeit des Radiothoriums in dem von Ramsay beschriebenen thoriumfreien Präparat kann durchaus nicht in der Weise gedeutet werden, als ob es für sein chemisches Verhalten in völlig reinem Zustande bezeichnend wäre. In diesen Fällen haben wir es wahrscheinlich mit einer eigenartigen besonderen Art chemischer Mitnahme zu tun, die von den gewöhnlichen Lösungs- und Fällungsprozessen durchaus verschieden ist.

Es ist ein sehr glücklicher Umstand, daß während der Ausführung der in vorliegender Arbeit beschriebenen Untersuchungen und noch vor dem Erzielen irgendwelcher endgültiger Schlußfolgerungen eine Untersuchung der radioaktiven Eigenschaften von Thorium ganz unabhängig seitens des Herrn Dadourian unternommen worden war, der nunmehr seine Ergebnisse in einer in der letzten Nummer dieser Zeitschrift veröffentlichten Arbeit vorlegt. Herr Dadourian hat eine Methode benutzt, die von der des Verfassers durchaus verschieden ist und die auf der Messung der Aktivität des auf einer negativ geladenen Platte gebildeten Niederschlags basiert war, die den Emanationen von Lösungen von Thoriumsalzen und Mineralien ausgesetzt wurde. Die erwiesene Übereinstimmung der nach den beiden voneinander unabhängigen Methoden erzielten Ergebnisse ist sicherlich auffällig und dürfte die in der Sache erzielten Schlußfolgerungen bekräftigen. Das Thoriumnitrat aus Thorianit, das von Herrn Dadourian benutzt wurde, war aus dem Thoriumoxyd Nr. 6 hergestellt worden, das auf Seite 486 dieser Arbeit erwähnt wird; das Thoriumnitrat aus North Carolina-Monazit war aus dem in dieser Liste mit Nr. 7 bezeichneten Thoriumoxyd dargestellt worden. Der Umstand, daß die Werte des Herrn Dadourian für die Thoriumaktivitäten dieser beiden Präparate ganz unabhängig von jedwedem etwa vorhandenen Aktinium oder Radium sind, macht diese sowie die Werte, die er für andere Thoriumpräparate erzielt hat, ganz besonders bedeutungsvoll. Die Übereinstimmung zwischen den von uns beiden erzielten Ergebnisse dürfte die Hahnsche[1]) Vermutung bekräftigen, daß der Zerfall von Thorium selbst ohne Strahlung erfolgt.

Es macht mir großes Vergnügen, der Welsbach Light Company und besonders ihrem Chemiker, Herrn H. S. Miner, meine Dankbarkeit für die große Freundlichkeit und Bereitwilligkeit zu bezeugen, mit der die Herren mir den größten Teil der bei vorliegenden Versuchen benutzten Mineralien zur Verfügung gestellt haben. Ihre unveränderliche Liebenswürdigkeit und Zuvorkommenheit weiß ich sehr wohl zu schätzen.

1) Journ. de Chim. Phys. **3**, 617, 1905.
2) Compt. rend. **132**, 273, 1906.

1) Loc. cit.

Schlußfolgerungen.

1. Die spezifische Aktivität von Thorium mit seinen Gleichgewichtsmengen an Zerfallsprodukten ist konstant.

2. Radiothorium ist ein Zerfallsprodukt von gewöhnlichem Thorium.

3. Gewisse von den gewöhnlichen käuflichen Thoriumsalzen enthalten nur etwa die Hälfte der Gleichgewichtsmenge Radiothorium, die dem vorhandenen Thorium entspricht.

4. Die von Thorium bei seinem Zerfall und der Bildung von Radiothorium erfahrene Veränderung ist wahrscheinlich strahlenlos.

New Haven, Conn., April 1906.

(Aus dem Englischen übersetzt von Alfred Gradenwitz.)

(Eingegangen 23. Mai 1906.)

Die Radioaktivität von Radiumsalzen.[1])

Von Bertram B. Boltwood.

Die Beziehung zwischen der α-Strahlen-Aktivität eines Radiumsalzes, aus dem alle Emanation sowie die entsprechenden aktiven Zerfallprodukte entfernt sind, und der α-Strahlen-Aktivität desselben Salzes, wenn die gesamte, dem Gleichgewicht entsprechende Menge von Emanation und aktiven Produkten noch vorhanden ist, ist allem Anscheine nach noch nicht mit irgendwelcher Genauigkeit bestimmt worden. Frau Curie zufolge[2]) ist die maximale Aktivität, die feste Radiumsalze nach mehreren Monaten erreichen, 5—6mal größer als die, die sie unmittelbar nach ihrer Abscheidung aus einer Lösung besitzen. An anderer Stelle ist in demselben Werk (Seite 116) angegeben, daß wenn eine Probe von Radiumbaryumchlorid zur Rotglut erhitzt wurde, die schließliche Maximalaktivität ungefähr 1,5 mal so groß war wie die von demselben Salz in normaler kristallinischer Form erreichte, während bei einem ähnlichen Präparat, das mehrere Stunden lang bis zum Schmelzen erhitzt worden war, die schließliche Aktivität einen mehr als 2 mal größeren Wert erreichte als die, die das Salz in der aus einer Lösung ausgeschiedenen Form zuletzt erreichte. Bei Radium-Baryum-Chlorid, das mehrere Stunden lang auf Kirschrotglut erhitzt worden war, war die Aktivität des Salzes unmittelbar nach der Erwärmung nur 16,2 Proz. der Aktivität desselben Salzes, wenn man dieses 75 Tage später untersuchte (Seite 117).

1) Die allgemeinen Ergebnisse und Schlußfolgerungen, die ich in dieser Arbeit erzielt habe, wurden bei einer Versammlung der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft vorgelegt, die zu New York am 24. Februar 1906 stattfand.

2) „Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen," Übersetzt von W. Kaufmann. Braunschweig 1904, Seite 32.

Rutherford und Soddy[1]) haben gleichfalls die Zunahme der Aktivität eines festen Radiumsalzes in Form eines dünnen Films bestimmt, wie man diesen durch die Verdampfung einer Lösung erhält, aus der die ganze Emanation entfernt ist. Die Aktivität des frisch hergestellten Rückstandes dieser Lösung betrug 25 Proz. der Aktivität, die derselbe Rückstand 21 Tage später besaß.

Bei keiner der erwähnten Arbeiten sind die Versuchsbedingungen erwiesenermaßen derart, daß das Entweichen eines Teiles der Emanation aus dem untersuchten Material ausgeschlossen wäre; auch bieten sie keine Angaben über den Betrag der gesamten Emanation, die von der festen Radiumverbindung zurückgehalten wurde. Die von dem Verfasser an Uran-Mineralien ausgeführten Versuche[2]) haben aber die Möglichkeit erwiesen, daß derartige Radiumverbindungen bei gewöhnlicher Temperatur sehr beträchtliche Beträge der in ihrem Innern erzeugten Radiumemanation verlieren.

Da der numerische Wert des Verhältnisses der Radiumaktivität selbst zu der Aktivität der Zerfallprodukte des Radiums von erheblicher Bedeutung ist, und da ferner eine Kenntnis des Wertes dieses Verhältnisses für die Auslegung anderer verwickelterer Beziehungen wesentlich war, so wurden die im folgenden beschriebenen Versuche unternommen, um die relative α-Strahlen-Aktivität von Radiumsalzen, aus denen jede Emanation entfernt, und ebenso auch die Aktivität derselben Salze zu bestimmen, wenn die gesamte Gleichgewichtsmenge Radiumemanation in ihrem Innern enthalten war.

Die Aktivität der Salze.

Das zur Verwendung kommende Radiumbaryumchlorid-Präparat, das eine Aktivität von nicht mehr als der 100fachen Uranaktivität besaß, war etwa ein halbes Jahr vorher durch chemische Prozesse und wiederholtes Umkristallisieren des Chlorids hergestellt worden, wobei nicht so sehr darauf abgezielt wurde, ein stark aktives Material zu erhalten, als vielmehr alles Aktinium und Polonium abzuscheiden, das etwa in dem Rohmaterial vorhanden sein könnte. Einige wenige Milligramm dieses Salzes wurden in 250 ccm destillierten Wassers aufgelöst, zu dem man einige Tropfen verdünnter Salzsäure hinzugefügt hatte. Von dieser Lösung wurden genau 10 ccm vermittels einer Normalpipette in eine Glasbirne eingeführt; die Lösung wurde auf etwa 100 ccm mit Wasser verdünnt und die Glocke durch Zuschmelzen geschlossen. Etwa zwei Monate darnach wurden die Emanation und andere in

1) Phil. Mag. (6) **5**, 445, 1903.

2) Ibid. (6) **9**, 599, 1905.

der Lösung enthaltenen Gase durch Auskochen entfernt und in ein luftdichtes Elektroskop eingebracht. Der nach drei Stunden erfolgte Ladungsverlust (erkenntlich an dem Fallen des Goldblatts) betrug 4,60 Skalenteile in der Minute. Dies entsprach einer in der Lösung in der Glocke enthaltenen Radiummenge von $8{,}5 \times 10^{-6}$ Milligramm oder einem Gehalt von $8{,}5 \times 10^{-7}$ Milligramm Radium in 1 ccm der ursprünglichen Lösung.

Eine Anzahl sehr dünner Films von Radiumsalz wurden hierauf in der Weise hergestellt, daß man 10 ccm der Normallösung in einzelnen flachen Glasschalen von 50 mm Durchmesser und 9 mm Tiefe langsam zur Trockenheit verdampfen ließ. Die für die Verdampfung erforderliche Zeit betrug etwa drei Stunden; das Salz setzte sich in ziemlich gleichmäßiger und außerordentlich dünner Schicht am Boden der Schale ab. Die frisch hergestellten Films wurden in ein Elektroskop eingebracht und ihre Aktivität gemessen.

Das Elektroskop, in dem die festen Körper zur Messung gelangten, bestand aus einem Ionisierungsgefäß aus Blech von 14 cm Höhe, kreisförmigem Querschnitt, 15 cm Durchmesser oben und unten und 19 cm Durchmesser an einem Punkte mitten zwischen der Ober- und Unterseite. Eine kreisförmige Aluminiumplatte von 7,5 cm Durchmesser hing 9,5 cm von dem Boden entfernt an einem senkrechten isolierten Messingstab, der durch die Oberseite des Ionisierungsgefäßes hindurchging und ein kleines Goldblatt an seinem Oberende trug. Dieses Goldblatt war von einem mit kleinen Glimmerfenstern versehenen Metallkasten umgeben. Die isolierte Platte konnte nach Belieben auf ein Potential von ungefähr 400 Volt vermittels einer kleinen Akkumulatorenbatterie geladen werden; die Ladungsabnahme der Platte wurde durch das Fallen des Goldblattes bestimmt, das man durch ein Mikroskop mit einer durchsichtigen Skala im Okular beobachtete. Die untere Hälfte der Ionisierungskammer konnte um einen Zapfen nach der einen Seite gedreht werden, ohne daß man irgendeinen anderen Teil des Instrumentes störend beeinflußte; die Schalen mit den Versuchssubstanzen konnten daher auf dem Boden der Ionisierungskammer angebracht werden. In der normalen, geschlossenen Stellung der Ionisierungskammer wurde der Boden durch drei kleine Federklammern festgehalten. Der gesamte Metallkasten des Elektroskops wurde mit der Erde elektrisch verbunden; ebenso der positive Pol der Batterie. Die isolierte Platte wurde bei allen Versuchen negativ geladen.

Nachdem die anfängliche Aktivität der Films bestimmt worden war, wurden diese in einer luftdichten Glocke über frischer, konzentrierter Schwefelsäure angebracht und in dieser Trockenatmosphäre während der Zwischenpausen zwischen den einzelnen Messungen belassen. Die Versuche wurden während der Wintermonate in einem mit Dampf geheizten Gebäude ausgeführt; Messungen wurden nur an klaren, kalten Tagen vorgenommen, wenn die Atmosphäre im Laboratorium einen Minimalbetrag von Feuchtigkeit enthielt. Wenn ein Versuch angestellt werden sollte, wurde die Schale mit dem Film aus der Glocke entfernt, unmittelbar in das Elektroskop eingebracht und die Messungen so schnell wie möglich ausgeführt. Die Schale wurde hierauf in die Glocke zurückgebracht und eine andere aus ihr herausgenommen und gemessen.

Die ursprünglichen Aktivitäten der einzelnen Films und ihre Aktivitäten nach dem Verlauf der angegebenen Zeitintervalle sind in der folgenden Tabelle als Funktion des Fallens des Goldblattes in Skalenteilen pro Minute angegeben. Die Ablesungen wurden in jedem einzelnen Falle von dem natürlichen Luftladungsverluste des Instrumentes korrigiert, der im Durchschnitt 0,038 Teilstriche in der Minute betrug.

Tabelle I.

Film No.	Anfängliche Aktivität	Aktivität nach 3 Tagen 22 Stunden	Aktivität nach
1	1,14	3,02	
		12 Tagen	31 Tagen
2	1,20	4,84	5,21
		17 Tagen	
3	1,12	4,60	

Als die letzte in der Tabelle angegebene Messung ausgeführt wurde, setzte ich die Schale mit dem Film schnell auf den Boden eines kleinen Kupfergefäßes von etwa 300 ccm Inhalt. Dieser Behälter wurde mit einem festsitzenden Deckel verschlossen, der mit zwei Öffnungen versehen war, an welche Glasröhren angeschlossen waren. Die eine dieser Röhren wurde mit einem kurzen Stück Gummischlauch, das mittels eines Quetschhahnes verschließbar war, an den Reichardtschen Apparat[1]) angeschlossen; durch die andere Röhre, die etwa bis auf den Boden des Behälters reichte, wurde ungefähr die Hälfte der Luft durch Saugen entfernt. Ungefähr 150 ccm warmen Wassers mit ein wenig Salzsäure wurden durch die Röhre eingebracht und diese hierauf mit einer Flasche kochendem Wasser verbunden. Alsdann wurde ein Dampfstrom durch das Gefäß hindurchgeschickt und die ausgetriebenen Gase in dem Reichardtschen Apparat gesammelt. Nach einem etwa 15 Minuten andauerndem Dampfdurchgang wurden die angesammelten Gase in

1) Phil. Mag. 18, 379, 1904.

das luftdichte Elektroskop eingebracht. Die Aktivität der aus den Films erhaltenen Emanationen ist in folgender Tabelle (Tabelle II) als Funktion des Fallens des Goldblattes in Teilstrichen pro Minute angegeben. Der prozentuale Betrag der in jedem Film vorhandenen Gesamtemanation wurde berechnet, indem man den beobachteten Abfall durch den Abfall dividierte, den die gesamte Gleichgewichtsmenge Emanation verursachte, die dem in dem Film vorhandenen Radiumbetrage entsprach (4,60 Teilstriche in der Minute):

Tabelle II.

Film No.	Beobachteter Abfall	Prozentualbetrag der vorhandenen Emanation
1	1,65	35,9
2	3,29	71,5
3	3,07	66,5

Da man den Zeitraum kennt, der von dem Augenblick der vollständigen Entfernung der Emanation aus dem Salz[1]) bis zu dem Zeitpunkt verstrichen war, zu dem die in dem Film zurückbleibende Emanation entfernt und gemessen wurde, kann man berechnen, welcher Betrag der aus dem Radium gebildeten Emanation von dem festen Salz wirklich zurückgehalten worden ist. In der untenstehenden Tabelle (Tabelle III) ist der prozentuale Betrag der gesamten in den einzelnen Films enthaltenen Emanation in der ersten Spalte gegeben; der prozentuale Betrag der gesamten Emanation, der nach Verlauf der angegebenen Zeit gefunden worden sein würde, wenn keine Emanation entwichen wäre, ist in der zweiten Spalte und das Verhältnis dieser beiden Beträge oder der Prozentualbetrag der gebildeten Emanation, die von dem Film zurückbehalten worden ist, in der dritten Spalte angegeben:

Tabelle III.

Film No.	1.	2.	3.
1	35,9 Proz.	50 Proz.	71,8 Proz.
2	71,5 „	100 „	71,5 „
3	66,5 „	95 „	70,0 „

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß bei den benutzten Films das Radiumsalz nur 70—71,8 Proz. der gesamten in ihrem Innern gebildeten Radiumemanation zurückbehielt.

Da die Zunahme der Aktivität, die auf Rechnung der Anhäufung bestimmter Beträge von Emanation und Zerfallprodukten zu setzen ist, in Tabelle I gegeben ist, so kann man die Aktivität berechnen, die die Films schließlich erreicht haben würden, wenn aus ihnen keine Emanation entwichen wäre. So war z. B. bei Film 1 der Unterschied zwischen der anfänglichen Aktivität und der Aktivität nach Verlauf von drei Tagen und 22 Stunden 1,88. Dies stellt die Aktivität dar, die auf Rechnung von 35,9 Proz. der Emanation und der aktiven Produkte schneller Veränderung kommt. 100 Proz. der Emanation und der aktiven Produkte würden daher eine Aktivität von 5,23 Teilstrichen pro Minute besitzen, und der maximale Wert dieser Aktivität würde 1,14 + 5,23 d. h. 6,37 betragen. Wenn man 6,37, die Maximalaktivität, durch 1,14, die Anfangsaktivität, dividiert, so erhält man den Wert 5,59 für das Verhältnis der beiden Zahlen. Die entsprechenden Daten für alle drei Films sind in folgender Tabelle (Tabelle IV) gegeben.

Der Durchschnittswert des Verhältnisses der Aktivität des von Emanation freien Salzes zu der Aktivität des Salzes mit seiner gesamten Radiumemanation ist nach dem Obigen 5,64.

Die Zunahme der Aktivität eines Films reinen Radiumbromids wurde gleichfalls durch Verdampfen einer Lösung reinen Radiumbromids bestimmt, die ein wenig Salzsäure enthielt; diese wurde zur Trockenheit in einer der Glasschalen verdampft. Die Aktivität des frisch hergestellten Films wurde bestimmt und die Schale hierauf etwa sechs Wochen lang in einem Dessikator über Schwefelsäure belassen. Nach Verlauf dieser Zeit wurde die Aktivität wiederum bestimmt; es stellte sich heraus, daß sie auf den 3,1fachen Betrag der anfänglichen Aktivität zugenommen hatte. Offenbar enthielt der Film nur ungefähr 45 Proz. der in seinem Innern gebildeten Aktivität. Die Lösung, aus der ich sie herstellte, habe ich der Freundlichkeit des Herrn A. S. Eve von der McGill-Universität zu verdanken.

Schlußfolgerungen. Die Reichweiten der α-Partikel von Radium und seiner Zerfallprodukte bei schneller Veränderung in Luft bei atmosphärischem Druck sind von Bragg und

1) Ein frisch hergestellter Film wurde derselben Behandlung wie die älteren Films unterzogen und die vollständige Abwesenheit von Emanation bei den frischen Films durch den Versuch in überzeugender Weise dargetan.

Tabelle IV.

Film No.	Anfangsaktivität	Schließliche Aktivität	Prozentualer Betrag der zurückgehalt. Emanation	Aktivität von 100% der Emanation	Aktivität, wenn alle Emanation zurückbleibt	Verhältnis
1	1,14	3,02	35,9	5,23	6,37	5,59
2	1,20	5,21	71,5	5,61	6,81	5,68
3	1,12	4,60	66,5	5,23	6,35	5,67

Kleeman bestimmt worden.[1]) Diese fanden folgende Werte:

Tabelle V.

1	Radium	3,5 cm
2	Emanation oder Radium *A*	4,23 „
3	Radium *A* oder Emanation	4,83 „
4	Radium *C*	7,06 „

Die Summe dieser Zahlen ist gleich 19,62; diese Zahl ist 5,60 mal größer als die Reichweite des α-Teilchens von Radium selbst. Der für die relative Ionisierung oder die Aktivitäten der einzelnen Produkte gefundene Wert, nämlich 5,64[2]) stimmt so genau mit dem Verhältnis der relativen Reichweiten derselben Produkte überein, daß es außerordentlich wahrscheinlich erscheint, daß die α-Strahlen-Aktivitäten der einzelnen Produkte den Reichweiten ihrer α-Teilchen proportional sind. Da außerdem nach der Zerfalltheorie, wenn die Muttersubstanz und die Zerfallprodukte sich in radioaktivem Gleichgewicht befinden, die gleiche Anzahl von Atomen jedes einzelnen Produktes in der Sekunde Zerfall erleiden und dieselbe Zahl α-Teilchen von jedem zerspringenden Atom fortgeschleudert wird, so dürfte es wahrscheinlich erscheinen, daß die von jedem α-Teilchen hervorgerufene Ionisierung seiner Reichweite proportional ist. Daß die gemessene Ionisierung fast gänzlich durch die α-Teilchen verursacht wurde, wurde in der Weise bewiesen, daß ich den einen Film, der seine maximale Aktivität erreicht hatte, mit einem 0,1 mm dicken Aluminiumblech bedeckte. Die dann erzielte Ionisierung betrug etwa 0,3 Proz. der von dem unbedeckten Film verursachten.

1) Phil. Mag. (6) **8**, 719, 1905.

2) Der Wert dieses Verhältnisses wurde auch an einem Elektroskop bestimmt, das eine Ionisierungskammer von 16 cm Länge, 8,5 cm Breite und 7 cm Höhe besaß. Die 13 cm lange und 5 cm breite, geladene Platte wurde 3,5 cm vom Boden entfernt aufgehängt. Das Verhältnis der Aktivität des emanationsfreien Salzes zu der Aktivität derselben Substanz mit ihrer gesamten Emanation wurde in diesem kleineren Elektroskop bestimmt; es betrug 5,35. Dieser niedrige Wert ist dem Umstand zuzuschreiben, daß ein Teil der α-Teilchen größerer Reichweite von den Wänden und der Platte aufgehalten wurde, bevor er den vollen Weg zurückgelegt hatte; dies verursachte eine entsprechende Verminderung der gesamten Ionisierung.

New Haven, Conn., April 1906.

(Aus dem Englischen übersetzt von Alfred Gradenwitz.)

(Eingegangen 23. Mai 1906.)

Ein kleines empfindliches Elektrometer.

Von F. Paschen.

Im folgenden sei ein kleines Quadrantelektrometer kurz beschrieben, welches ich vor einigen Jahren konstruiert habe, und welches sich infolge hoher Empfindlichkeit, kleiner Kapazität und steter Bereitschaft zum Gebrauch für viele Zwecke als brauchbar erwiesen hat.

Beim Quadrantelektrometer gewöhnlicher Konstruktion sind die verfügbaren elektrischen Kräfte nicht so ausgenutzt, daß sie der Nadel ein möglichst großes Drehmoment erteilen. Vielmehr ist dort vieles an verfügbaren Kräften geopfert, um eine Anordnung zu erzielen, bei der die theoretisch anzugebenden Beziehungen zwischen den Potentialwerten und den Drehwinkeln möglichst genau erfüllt sind. Die im folgenden zu beschreibende Anordnung nutzt die elektrischen Kräfte besser aus, legt aber kein Gewicht auf genaue Proportionalität der Ausschläge mit den Potentialdifferenzen oder ihren Quadraten. Man darf letzteres ruhig aufgeben, da es leicht ist, bei jedem Instrumente die betreffende Beziehung mit gewünschter Genauigkeit festzustellen. Diese Prüfung wird ja auch beim genauen Quadrantelektrometer nicht erspart. Es zeigte sich nun aber, daß wider Erwarten dieselben Beziehungen mit fast gleicher Genauigkeit gelten wie bei dem theoretisch hierfür besser konstruierten Quadrantelektrometer.

Außerdem ermöglicht die neue Anordnung, ein von Bunge bei den Wagen und von C. V. Boys bei seinem Gravitationsapparate in die Instrumententechnik eingeführtes Prinzip ähnlich auf das Elektrometer zu übertragen, wie ich es früher auf das astatische Galvanometer angewandt habe.[1]) Dies Prinzip besagt, daß man die Empfindlichkeit bei jeder Art Drehwage n-fach steigert, wenn man die linearen Dimensionen, vor allem die Hebelarme, n-fach verkleinert und durch Änderung der Direktionskraft (vermittels feiner Suspensionen z. B.) dafür sorgt, daß die Schwingungsdauer wieder die alte wird.[2])

Zwischen Zylinderquadranten aus Kupfer vom inneren Durchmesser ca. 9 mm und einer Höhe ca. 3 cm hängt ein äußerst dünn gewalztes ebenes Kupferfolienplättchen von etwa 6 mm Breite und 12 mm Länge genau parallel der Zylinderachse und mit seiner Fläche genau in der Ebene zweier gegenüberliegender Schlitze des Zylinders. Die Zylinderquadranten, auf Bernstein montiert, befinden sich in einer innen verkupferten Büchse, deren abnehmbarer Deckel ein Metallrohr zur Aufnahme der Suspension trägt. Das Rohr enthält oben einen mikrometrisch drehbaren Torsionskopf und unten ein Fenster für den Spiegel. Das an geradem, dünnem Kupferdrahte genau zentrierte Kupferplättchen hängt an einem Wollastonfaden von 5 bis 6 μ Dicke und ca. 12 cm Länge. Der

1) Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Januar 1893.

2) Beim astatischen Galvanometer steigt die Empfindlichkeit hierbei sogar nahe n^2-fach, wie ich gezeigt habe.

Faden ist oben an einem Stabe befestigt, der vermittels einer Bernsteinhülse im Torsionskopf befestigt ist und oben eine Klemme trägt. Ein ca. 5 mgr schwerer und daher noch recht guter Spiegel ist mit einer Spur von Klebwachs an dem dünnen Kupferdrahte befestigt.

Das Kupferplättchen wird durch Walzen zwischen Aluminium genügend dünn (ca. 0,01 mm) hergestellt und zuletzt geglüht und dann durch Walzen zwischen glattem dickem Karton völlig eben gemacht. Die Quadranten sind innen geschaltet. Zwei Zuleitungen treten vermittels Bernstein isoliert durch dies metallische Gehäuse heraus. Im Inneren der metallischen Hülle befindet sich als einziges Dielektrikum die Bernsteinplatte, welche die Zylinderquadranten trägt. Diese ist in der Fortsetzung der Zylinderbohrung mit einer runden Öffnung versehen, so daß von keinem Punkte des Plättchens etwas Dielektrikum zu sehen ist. Auch nach oben sieht man von keinem Punkte des Plättchens etwas anderes als Metall von definiertem Potentialwerte.

Zur Justierung des Plättchens hat das Gehäuse Fenster, welche durch Überschieben eines innen verkupferten Ringes geschlossen werden können. Mit Hilfe zunächst dieser Fenster, der Fußschrauben, und zuletzt der Mikrometerschraube am Torsionskopfe justiert man schnell so, daß die Ausschläge bei jeder Schaltung nach rechts und links gleich groß werden. Dann sind sie zugleich auch bei Doppelschaltung sehr nahe proportional den Quadraten der Potentialdifferenz und bei Quadrant- oder Nadelschaltung sehr nahe proportional den Potentialdifferenzen selbst.

Die Empfindlichkeit betrug bei 2 m Skalenabstand und bei Doppelschaltung ca. 32 mm (einseitiger Ausschlag) für ein Volt. Bei Quadrantschaltung und einer Nadelladung von 40 Volt ergab 1×10^{-4} Volt einen (einseitigen) Ausschlag von 1 mm. Die Kontaktpotentialdifferenzen zwischen den Quadranten und der Nadel blieben unter 0,01 Volt.

Die Kapazität eines Quadrants bei Ableitung der übrigen Teile ist ca. 15 cm.

Die Kapazität der Nadel bei Ableitung der übrigen Teile ist ca. 8 cm.

Die Kapazitäten lassen sich nötigenfalls noch sehr verringern.

Die ganze Schwingungsdauer betrug hierbei 15 Sekunden, und die obige Anordnung ist so bemessen, daß die Nadel nach 15 Sekunden wieder stille steht, was für ein schnelles, bequemes und daher exaktes Arbeiten günstig ist.

Das beschriebene Modell sollte mir nur zeigen, wie sich ein nach diesem Prinzipe gebautes Elektrometer verhält. Es hat daher noch verhältnismäßig große Dimensionen. Es steht nichts im Wege, die Dimensionen weiter zu reduzieren, da man gute Spiegel von 1 mgr Gewicht noch machen kann und dünnere Wollastonfäden zu haben sind. Es ist zu erwarten, daß die Empfindlichkeit bei gleicher Schwingungsdauer dadurch noch erheblich gesteigert werden kann.

Ich möchte erwähnen, daß Herr C. V. Boys vor etwa 11 Jahren ein kleines Westentaschenelektrometer gefertigt hat, dessen Zylinderquadranten aus 2 Silberstreifen im Innern einer Glasröhre bestehen. Zwischen diesen hängt an einem Quarzfaden ein Doppelstäbchen *Zn|Cu*, dessen kontaktelektrische Potentialdifferenz als Nadelladung für die Messungen benutzt wird. Die oben beschriebene Konstruktion verdankt ihre Anregung zum größten Teile diesem sinnreichen Instrumente.

(Eingegangen 15. Juni 1906.)

Ein transportables Quadrantelektrometer mit photographischer Registrierung.

Von J. Elster und H. Geitel.

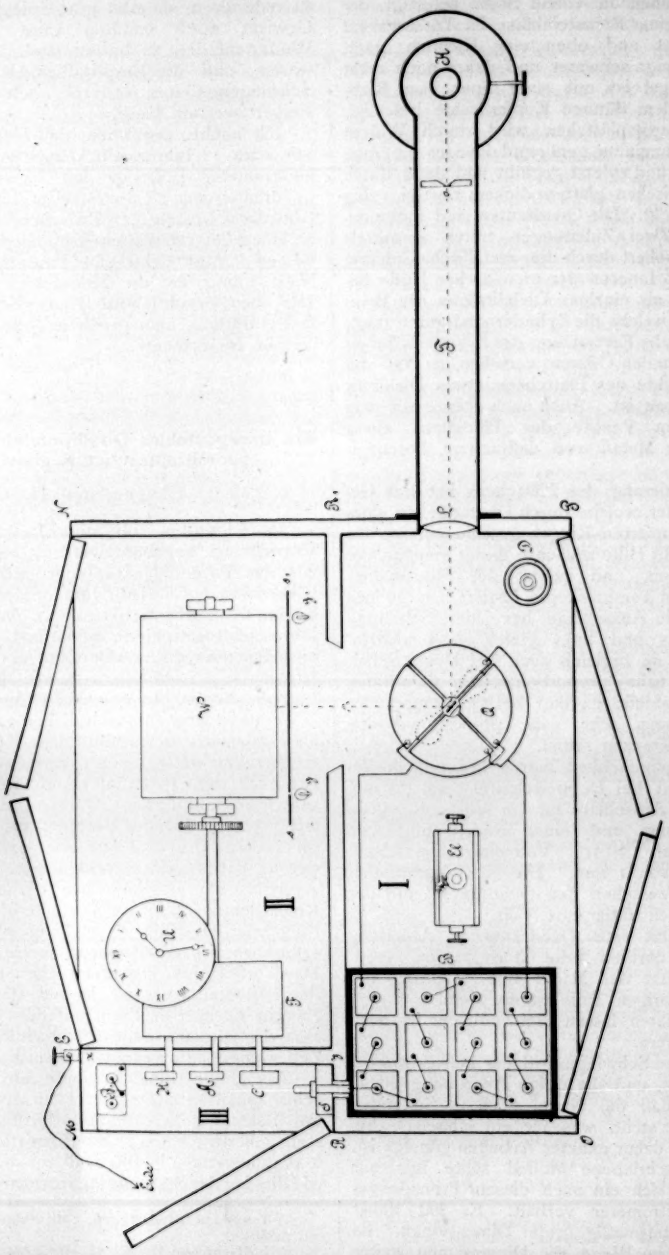
Im folgenden soll eine Beschreibung der Vorrichtung gegeben werden, mittels welcher wir das Potentialgefälle der atmosphärischen Elektrizität auf Palma (Mallorca) während der totalen Sonnenfinsternis am 30. August vorigen Jahres photographisch registriert haben. Wir entnehmen sie unserem Berichte an die Carnegie Institution in Washington[1]), in deren Auftrag die Beobachtungen ausgeführt sind.

Von unserer ursprünglichen Absicht, das als Stationsinstrument bewährte Benndorfsche Registrierelektrometer zu verwenden, das bekanntlich den Potentialverlauf durch diskontinuierliche punktförmige Marken darstellt, kamen wir nach eingehender Beratung mit den Mechanikern Günther & Tegetmeyer zurück, nach deren Urteil ein zweckmäßig konstruierter Apparat für kontinuierliche photographische Registrierung keine weitergehenden Anforderungen in betreff der Aufstellung und Bedienung erforderte, als die Benndorfsche Einrichtung. Der Vorteil einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Potentialkurve lag ja bei dem speziellen Zwecke unserer Sendung auf der Hand, indem sich der zu erwartende Effekt vielleicht auf die Zeit weniger Minuten zusammendrängen konnte.

Als Meßinstrument diente ein Thomsonsches Quadrantelektrometer unserer Konstruktion[2]), dessen isolierende Teile durchweg aus Bernstein gefertigt waren. Zur Ermittlung von Potentialdifferenzen im Intervall von 0 bis 250 Volt, wie dies bei der Bestimmung des atmosphärischen

1) Terr. Magn. Märzheft 1906. (Mit einigen Abänderungen und Zusätzen.)

2) J. Elster und H. Geitel, Wied. Ann. **64**, 680, 1898.


I
II
III

Potentialgefälles erforderlich ist, benutzten wir die folgende Art der Schaltung, durch die wir zugleich die Mitführung einer vielzelligen Batterie zum Aufladen der Elektrometernadel entbehrlich machten. Wir schlossen den Elektrometerflügel an den Körper, dessen Potential zu messen war, also an den Kollektor an, während wir die Quadranten mit den Polen eines Trockenelementes oder einer in der Mitte geerdeten Batterie von 2, 4, 6, 8, 10 oder 12 solchen Elementen verbanden. Mit Vermehrung der Elementenzahl wächst die Empfindlichkeit stetig an. Während bei Anwendung nur einer Zelle der bequeme Meßbereich im Intervalle von 100 bis 250 Volt liegt, war die Empfindlichkeit bei 12 Elementen groß genug, Potentiale von 0 bis 50 Volt mit hinlänglicher Genauigkeit festzulegen.

Eine kleine Trockenbatterie von 12 Elementen erwies sich also als ausreichend, alle gewünschten Grade der Empfindlichkeit herzustellen. Nachdem eine Reihe von Vorversuchen die Brauchbarkeit dieser Methode erwiesen hatte, schritten die Herren Günther & Tegetmeyer zum Bau des Registrierelektrometers. Die kompendiöse Form und die dadurch bedingte leichte Handhabung der ganzen Vorrichtung ist das Verdienst der oben genannten Firma.

Die Figur stellt das Registrierelektrometer im Grundriß dar. Ein rechteckiger, auf Stellschrauben ruhender, durch Klapptüren lichtdicht verschließbarer Kasten *MNOP* von 54 cm Länge, 44 cm Breite und 46 cm Höhe ist durch zwei Scheidewände RR_1 und *XY* in drei Abteilungen I, II und III geteilt. In der ersten von diesen (I) befindet sich das Quadrantelektrometer *Q*, die die Quadranten aufladende Batterie *B* und die Libelle *D*. Das Grundbrett, auf dem *Q* steht, ist in einem Falz verschiebbar. Nach Lösung sämtlicher Drahtverbindungen läßt sich daher das Instrument, wenn erforderlich, leicht aus I entfernen; wenn die Libelle *D* einspielt, so steht der Elektrometerflügel symmetrisch zu den Quadranten. In der zweiten Abteilung (II) ist die mit photographischem Papier umkleidete Walze *W* angebracht und das diese innerhalb 24 Stunden einmal um ihre Achse drehende Uhrwerk, dessen Federkasten *F* in der Figur gezeichnet ist. Ein feiner horizontaler Schlitz in der Metallplatte ss_1 reduziert das von der Linse *L* entworfene Bild des durch die Lampe *K* erleuchteten vertikalen verstellbaren Spaltes *O* auf einen Punkt. Die Abteilung III enthält den Schlüssel *C* und die Arretierung *A* des Uhrwerks; der Schieber *H* erlaubt die Umlaufszeit der Walze *W* von 24 Stunden auf 2 zu reduzieren. Mittels der Hilfsbatterie B^1 in III werden automatisch die kleinen Glühlämpchen *g* und g_1 in II im Intervall von je einer Stunde entzündet, wodurch auf den Rändern des photographischen Papieres symmetrisch zur Mittellinie gelegene schwarze Pünktchen als Zeitmarken entstehen. Außerdem können durch Schließung eines Kontaktes derartige Marken zu jeder beliebigen Zeit willkürlich gegeben werden.

Das in Ebonit gearbeitete Schaltbrett *S* in III gestattet mittels zweier einfacher Handgriffe durch Anschaltung einer passend gewählten Anzahl von Elementen an die Quadranten die Empfindlichkeit zu regulieren.

Der obere Boden des Raumes *I* trägt ein geeichtes Exnersches Elektroskop *El* mit Spiegelskala, Bernsteinisolation und Natriumtrocknung, dessen Blättchenträger dauernd mit dem Elektrometerflügel in leitender Verbindung steht. Ein Blick auf dieses Elektroskop genügt daher, um zu sehen, ob das Potential der Nadel innerhalb des durch die getroffene Schaltung bedingten Empfindlichkeitsbereiches liegt. Ferner vermag man mittels dieses Kontrollinstrumentes jederzeit die Ablenkung der Elektrometernadel in Volt festzulegen, indem man in dem Momente, in welchem man die Divergenz der Aluminiumblättchen abliest, den Stromkreis der Hilfsbatterie B_1 schließt und die Zeit notiert. Die Verbindungslinie der hierdurch auf dem Photogramme erzeugten Marken schneidet die Kurve in dem durch die Ablesung ausgewerteten Punkte. Die Uhr *U* auf dem oberen Boden der Abteilung II läuft synchron mit der Walze *W* und dient zur Ablesung der Zeit. Alle Teile des Apparates, die zu erden sind, stehen mit dem Stifte *E* in leitender Verbindung.

Magnetische Kräfte beeinflussen die Nullstellung der an einem schmalen Metallbande aufgehängten Nadel nicht, Temperaturänderungen, sowie geringe elastische Nachwirkungen der Suspension verursachen indes kleine unvermeidliche Veränderungen der Ruhelage. Doch läßt sich, auch während der Apparat im Betriebe ist, leicht kontrollieren, ob derartige Veränderungen stattgefunden haben. Man leitet zu diesem Zwecke die Elektrometernadel für kurze Zeit zur Erde ab und sieht durch ein — in der Figur nicht gezeichnetes — vertikales Metallrohr, dessen Achse zur Richtung des Schlitzes ss_1 senkrecht steht, nach unten. Bei richtiger Nullstellung der Nadel muß das von einem Spiegelchen reflektierte helle Bild des Spaltes in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheinen. Ist dies nicht der Fall, so kann die Elektrometernadel durch Drehung des Torsionskopfes wieder in die richtige Lage gebracht werden.

Um eine möglichst kontinuierliche Tätigkeit des Apparates zu sichern, sind ihm zwei Walzen *W* beigegeben. Es erleichtert die Handhabung des Instrumentes wesentlich, wenn man es in

einem Dunkelzimmer unterbringen kann. Dann ist es möglich, die Auswechslung der Walzen zu jeder beliebigen Tageszeit vorzunehmen; im andern Falle hat dies nachts zu geschehen.

Den Anschluß an den Kollektor vermittelt ein den oberen Boden der Abteilung I durchsetzender Metallstift. Die Bernsteinisolation dieser Zuführung ist von einem Metallrohre umhüllt, dessen Innenraum, wenn erforderlich, durch Natrium trocken gehalten werden kann. Das gleiche ist auch bei den aus Ebonit gefertigten Haltern möglich, welche die Herstellung der Drahtverbindung zwischen Elektrometer und Kollektor vermitteln.

Die Photogramme besitzen eine Länge von 376 und eine Breite von 145 Millimetern. Bei der 24-Stundenschaltung entspricht daher einer Stunde eine Strecke von rund 16 mm, bei der 2-Stundenschaltung einer Minute eine solche von etwa 3 mm. Den beschleunigten Umlauf wird man mit Vorteil da verwenden, wo Intensitätsschwankungen des elektrischen Feldes der Erde innerhalb kurzer Zeiträume vermutet werden. Wir glauben, daß die beschriebene Anordnung für solche Fälle auch als Stationsinstrument von Wert sein wird. (Aufnahme von Potentialkurven bei Gewittern, Regen-, Schnee- und Hagelböen und Nordlichtern.)

Wolfenbüttel, im Juni 1906.

(Eingegangen 7. Juni 1906.)

Luftelektrische Beobachtungen auf Mallorca während der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905.

Von J. Elster und H. Geitel.

Die totale Sonnenfinsternis vom 30. August v. J. ist in weit höherem Maße als eine der vorhergegangenen zu Beobachtungen der Luftelektrizität ausgenützt worden. Einige Berichte darüber sind in dieser Zeitschrift erschienen[1]), es dürfte daher nicht ungerechtfertigt sein, an dieser Stelle ebenfalls eine kurze Darstellung derjenigen luftelektrischen Beobachtungen zu geben, die wir im Auftrage der Carnegie Institution in Washington auf Mallorca innerhalb der Zone an Totalität angestellt haben. Die ausführliche Berichterstattung findet sich im Märzheft des Jahrgangs 1906 der Zeitschrift Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity.

Unsere Absicht war, ein möglichst vollständiges Bild von dem elektrischen Zustande der Atmosphäre vor, während und nach der Finsternis zu gewinnen, zu diesem Zwecke haben wir Messungen der Intensität des elektrischen Feldes der Erde, der Elektrizitätszerstreuung, der Menge der Ionen im ccm Luft und ihrer Beweglichkeit, sowie auch der Intensität der Sonnenstrahlung, und zwar des brechbarsten Teils im sichtbaren Spektrum vorgenommen. Letztere Beobachtungen sind von Herrn Dr. Harms, dem dritten Teilnehmer an unserer kleinen Expedition ausgeführt, der über sie gesondert berichten wird.

Vorausgeschickt muß werden, daß die Wetterverhältnisse am Tage der Finsternis auf Mallorca leider recht ungünstig waren. Wir hatten bei dem Klima der Balearen gewiß mit Recht gehofft, in jener Jahreszeit um die Mittagsstunde im wesentlichen wolkenfreien Himmel zu haben, so daß andere, von der Abblendung der Sonnenstrahlen durch den Mond unabhängige atmosphärische Störungen nicht zu erwarten schienen. Statt dessen trat nach einer Reihe heiterer Tage schon am 29. ein Barometersturz mit Bewölkung ein, in dessen Gefolge sich am 30. in den frühen Morgenstunden sogar Regenfall an unserem Beobachtungsorte Palma einstellte. Zwar hellte sich der Himmel gegen Mittag so weit auf, daß der Verlauf der Finsternis vom ersten Kontakte an bis zum Ende der Totalität im ganzen gut zu beobachten war, doch betrug die Wolkenbedeckung auch in den günstigsten Augenblicken mehr als die Hälfte des Himmelsgewölbes, vom Ende der Totalität bis zu dem der Finsternis überhaupt blieb die Sonne verdeckt. Für rein astronomische Beobachtungen wäre somit das Wetter an unserem Standorte nicht allzu schlecht gewesen, für elektrische Messungen kann es nur als ungünstig bezeichnet werden, da es nicht möglich war, sicher zu entscheiden, wie weit die wechselnden Kumuluswolken, die in dem gebirgigen Innern der Insel sogar etwas Regen fallen ließen, durch eine etwaige elektrische Eigenladung das Erdfeld und die Ionenverteilung in der Luft beeinflußten.

Da von Mallorca elektrische Beobachtungen noch nicht vorlagen, so begannen wir unsere Arbeiten schon am 23. August, indem wir bis zum Tage der Finsternis in der Zeit von 8a bis 7p das elektrische Feld der Erde mittels photographischer Registrierung festlegten, die Elektrizitätszerstreuung für positive und negative Ladungen an unserem Zerstreuungsapparate[1])

1) H. Ebert, diese Zeitschr. **6**, 641, 1905; A. Gockel, ebenda **6**, 617, 1905.

1) Wir verkennen gewiß nicht die Mängel dieser Einrichtung, die, wie Herr H. Schering in quantitativer Weise (Diss. Göttingen 1904 und Ann. d. Phys. **20**, 174, 1906) nachgewiesen hat, keine absoluten Bestimmungen der Leitfähigkeit der Luft liefert, haben diese vielmehr, soweit sie durch die Anwendung des Schutzzylinders und die dadurch bedingte Einengung des Zerstreuungsraumes bedingt sind, selbst schon anfangs erkannt und mehrfach hervorgehoben (Terr. Magn. and Atm. Electricity **4**, 222, 1899; Wien. Ber. **111**, 951, 1902; Denk-

und die Ionenmenge in der Volumeinheit der Luft zugleich mit der Beweglichkeit der Ionen an dem Ebertschen Ionenzähler in Verbindung mit dem Macheschen Vorschaltkondensator bestimmten. Diese Vorarbeiten, die den Zweck hatten, die normalen luftelektrischen Verhältnisse am Beobachtungsorte zu ermitteln, wurden nur während des 25. wegen ungünstigen Wetters unterbrochen, unsere Absicht, auch den 31. August, also den Tag nach der Finsternis, zu einer Kontrolle der vorhergegangenen Messungen zu benutzen, konnte des regnerischen Wetters wegen nicht ausgeführt werden.

Die Ergebnisse der Vorarbeiten lassen sich in folgender Weise kurz kennzeichnen:

Das Potentialgefälle der atmosphärischen Elektrizität, photographisch registriert mittels eines für diesen Zweck gebauten transportablen Apparates[1]), zeigte auch an wolkenlosen Tagen einen ziemlich unruhigen Gang. Da der Wind mit Ausnahme der ersten Morgenstunden tagsüber konstant von der See her blies, so konnten Verunreinigungen der Luft durch Staub vom Erdboden her nicht die Ursache dieser kleinen Schwankungen des Erdfeldes sein, wahrscheinlich hingen sie mit den Pulsationen des Windes zusammen. Sie waren insofern höchst unwillkommen, als sie leicht die Wahrnehmung etwaiger Störungen des Potentialverlaufs während der Finsternis verhindern konnten. Eine Reduktion der erhaltenen Kurven im Sinne der Exnerschen Vorschriften auf freies ebenes Feld war wegen örtlicher Schwierigkeiten nicht wohl ausführbar, dabei auch nicht von wesentlicher Bedeutung, da es in erster Linie auf eine Feststellung relativer Schwankungen ankam. Die Elektrizitätszerstreuung war in Palma etwa von gleichem Betrage wie in Wolfenbüttel. Die unter Zugrundelegung des Coulombschen Zerstreuungsgesetzes für eine Minute berechnete Koeffizienten waren für positive Ladung: $a+ = 1{,}33$ Proz., für negative $a- = 1{,}48$ Proz. (aus je 66 Einzelmessungen), gegen den Jahresdurchschnitt von Wolfenbüttel von 1,33 Proz.

Die Anzahl der Ionen im ccm Luft fand sich für die positiven im Mittel zu 761, für die negativen zu 721, die Beweglichkeit der ersteren für eine Feldstärke von 1 Volt/1 cm zu 0,83 cm, für die letztere zu 0,90 cm.

Beide Arten von Bestimmungen sind in der Regel zweimal täglich ausgeführt. Die Ionenzahlen wurden am Ebertschen Aspirationsapparat bei geerdetem Vorschaltkondensator ermittelt, zur Bestimmung der Ionenbeweglichkeit legten wir an den Kondensator in bekannter Weise eine konstante Potentialdifferenz an. Aus dem Blättchenrückgange am Elektroskope bei geerdetem und bei geladenem Kondensator läßt sich unter Berücksichtigung der Dimensionen des letzteren nach der von den Herren Mache und Ebert gegebenen Methode die Ionenbeweglichkeit ableiten. Da auch bei geerdetem Kondensator ein kleiner Bruchteil der leicht beweglichen Ionen in diesem durch Adsorption zurückgehalten wird, ergibt diese Methode für die Ionenzahlen durchschnittlich etwas zu kleine Werte, bietet aber den Vorteil, daß man Beweglichkeit und Menge der Ionen in einer fortlaufenden Beobachtungsreihe an demselben Apparate verfolgen kann.

Am Tage der Finsternis erwies sich das Potentialgefälle in den Morgenstunden außergewöhnlich klein, so daß wir um 11*a* die Empfindlichkeit des Registrierelektrometers erhöhen mußten, um eine von der Nullinie genügend entfernte Kurve zu erhalten. Später hin näherte es sich dem Mittelwerte der beiden vorhergegangenen Tage, um $12^h\,3/4$, kurz vor dem ersten Kontakte, während der schon erwähnten Abnahme der Bewölkung, durchlief es ein Maximum (von 70 Volt in willkürlichem Maße), um $1^h 25$, zur Zeit des dritten Kontaktes, des Endes der Totalität, ein Minimum (30 Volt), um dann gegen 2^h auf etwa 60 Volt wieder anzusteigen. Um $2^h\,20$ trat unter starker Zunahme der Bewölkung ein zweites etwas tieferes Minimum ein, dem nach dem Ende der Finsternis ein weiteres Maximum (gegen 4^h) folgte.

Bei diesem schwankenden Verlaufe des Potentialgefälles ist es nicht möglich, einen ursächlichen Zusammenhang zwischen dem ersten Minimum am Schlusse der Totalität und der vorhergegangenen Abblendung der Sonnenstrahlen zu behaupten. Immerhin ist das Zusammentreffen bemerkenswert und mit gewissen früheren Erfahrungen in Übereinstimmung, nach denen mit Ablauf der Totalität zunächst eine Schwächung und bald darauf eine Zunahme des Erdfeldes beobachtet ist.

Auch die Messungen der Elektrizitätszerstreuung sind durch die Ungunst des Wetters beeinträchtigt. Für beide Vorzeichen der Ladung bleibt ihr Betrag während des ganzen

schrift der Kommission für luftelektrische Forschungen S. 70, München 1903). Aber gerade für den vorliegenden Zweck, wo es sich um Beobachtungen unter unbekannten Verhältnissen handelte, glaubten wir von dem jederzeit gebrauchsfertigen Apparate nicht abgehen zu dürfen, der auch unter ungünstigen Bedingungen Änderungen in der Entladungsgeschwindigkeit eines der Luft ausgesetzten Leiters erkennen läßt und dabei grobe Irrtümer, wie durch Isolationsfehler oder durch den Einfluß des elekrischen Feldes der Erde bei genügender Sorgfalt ausschließt. Versuche, diese Beobachtungsmethode durch eine theoretisch gesicherte zu ersetzen, sind leider bis jetzt daran gescheitert, daß die Fehler durch äußere Störungen (besonders die Inkonstanz des Erdfeldes) sich als unkontrollierbar erwiesen haben.

1) Die Beschreibung erfolgt gleichzeitig in dieser Zeitschrift (S. 492).

Tages unter dem obengenannten Durchschnittswerte. Die Zerstreuung der positiven Elektrizität, die um $10^1/_2{}^h$ noch 1 Proz. betrug, zeigte unmittelbar vor der Totalität mit $a_+ =$ 0,6 Proz. das absolute Minimum aller unserer Messungen auf Mallorca. Die der negativen Elektrizität war zu dem gleichen Zeitpunkte verhältnismäßig hoch (1,2 Proz.), begann aber sofort zu sinken, um gegen $2^1/_2\,p$ das ebenfalls sehr tiefe Minimum von 0,7 Proz. zu durchlaufen.

Wir glauben, daß in beiden Fällen der Zusammenhang des Verlaufes der Zerstreuung mit der Verfinsterung der Sonne nicht bezweifelt werden kann.

Die Anzahl der Ionen im ccm Luft (um eine möglichst eng aneinander schließende Reihe einheitlicher Beobachtungen zu erzielen, wurden die Zählungen sowohl wie die Bestimmungen der Beweglichkeit auf die positiven beschränkt) erreichte zwischen 9 und 10^h mit 585 den Durchschnittswert der vorhergegangenen Tage noch nicht, überschritt ihn zur Zeit des ersten Kontaktes mit 947, fiel kurz nach der Totalität auf 735 und stieg nach Ende der Finsternis wieder auf 888. Dann aber folgte bei stark bewölktem Himmel diesem Anstieg ein zweites Minimum von 528 (3^h 30) und auf dieses gegen 4^h bei vorübergehendem Sonnenschein ein Maximum von 1024.

Die Sachlage ist demnach ähnlich unsicher wie bei dem Potentialgefälle; es erscheint bedenklich, die geringe Verminderung der Ionenzahl zur Zeit der stärksten Verdunkelung als eine Folge des Fehlens der Sonnenstrahlung anzusprechen.[1])

Dagegen ist ein solcher Einfluß unverkennbar bei der Beweglichkeit derselben Ionen. Bis gegen 1^h nimmt sie regelmäßig zu, erreicht um diese Zeit ein Maximum von 0,78 cm, sinkt dann gegen 2^h auf das abnorm tiefe Minimum von 0,11 cm, um nach einem zweiten Maximum (0,40) um 2^h 30 und einem Minimum von 0,25 um 3^h 30 zwischen $4-5^h$ bis 1,04 cm anzuwachsen.

Hiernach würde der Einfluß der Sonnenfinsternis auf den elektrischen Zustand der Atmosphäre wesentlich in einer Verminderung der Beweglichkeit der Ionen bestehen. Unmittelbar als Folge davon mußte auch die Zerstreuung geringer werden, ja auch die Anzahl der Ionen in der Volumeinheit der Luft wird mittels der gebräuchlichen Aspirationsmethode verkleinert gefunden werden, sobald ihre Beweglichkeit unter eine gewisse Grenze sinkt, das Feld des Kondensators also nicht mehr hinreicht, sie sämtlich herauszufangen. In der Tat liegt das beobachtete Minimum von 0,11 cm tiefer als der für den Ebertschen Apparat zulässige Grenzwert, die beobachtete kleine Verminderung der Ionenzahl innerhalb des Mondschattens ist daher vielleicht auch auf diese Hemmung der Ionen zurückzuführen.

Eine Diskussion des Verlaufs des Potentialgefälles während der Finsternis halten wir gegenüber den ungünstigen Wetterverhältnissen für zwecklos.

Die hemmende Wirkung der Abnahme und der gänzlichen Ausschaltung der Sonnenstrahlung auf die Beweglichkeit der Ionen in der Atmosphäre ist aus der Anlagerung von Wasserdampf bei sinkender Temperatur wohl verständlich. Sie war vorauszusehen und ist in unsern „Vorschlägen für die Ausführung elektrischer Messungen während der bevorstehenden Sonnenfinsternis" bereits in Betracht gezogen.[1]) Die gleiche Erscheinung ist gewöhnlich bei ansteigender relativer Luftfeuchtigkeit beobachtet, braucht also nicht als eine besondere Eigentümlichkeit der Atmosphäre während der totalen Verfinsterung gedeutet zu werden. Dieselbe Ansicht wird auch von Herrn Ebert (a. a. O.) ausgesprochen.

Die Aussicht, unmittelbare, d. h. auf photoelektrischen Wirkungen oder auf unbekannten Strahlungen beruhende Einflüsse der Sonne auf den elektrischen Zustand der Atmosphäre durch Beobachtungen an der Erdoberfläche bei Gelegenheit einer totalen Sonnenfinsternis zu entdecken, scheint uns nach den dargelegten Erfahrungen nicht größer, als zuvor. Die Existenz solcher Einflüsse überhaupt zu bestreiten, wäre indessen voreilig, man denke nur an die vergeblichen Bemühungen, Wirkungen eines unzweifelhaft elektrischen Vorgangs in den höheren atmosphärischen Schichten, des Polarlichts, auf das elektrische Verhalten der tieferen Luftmassen zu erkennen.

1) Zieht man die gleichzeitigen Beobachtungen von Herrn Ebert (a. a. O.) heran, der für die negativen Ionen ebenfalls eine geringe Abnahme der Anzahl während der Totalität fand, so wird der Einfluß des Mondschattens etwas wahrscheinlicher.

1) Terr. Magn. and Atm. Electricity **10**, 17, 1905.

Wolfenbüttel im Juni 1906.

(Eingegangen 7. Juni 1906.)

Ein neues Vakuummeter.

Von W. Voege.

Vor kurzem habe ich in der Elektrotechnischen Zeitschrift einen Apparat zum Messen schwacher Wechselströme beschrieben.[1]) Das Prinzip desselben ist kurz folgendes: Die von dem zu messenden Wechselstrom im Hitzdraht

1) Elektrotechn. Zeitschr. **20**, 467, 1906.

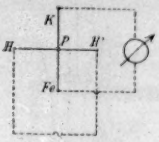


Fig. 1.

HH' (Fig. 1) erzeugte Wärme erhöht die Temperatur der Lötstelle P des Thermoelements K—Fe, welches mit dem Hitzdrahte im Punkt P metallisch verbunden ist. Die der Temperaturerhöhung der Lötstelle entsprechende E.M.K. des Thermoelements wird an einem Gleichstrom-Meßinstrument, Zeiger- oder Spiegelgalvanometer, abgelesen und so die Stromstärke des Wechselstroms bestimmt. Durch Verwendung sehr feiner Drähte ist es gelungen, eine schnelle und präzise Zeigereinstellung sowie eine hohe Empfindlichkeit zu erreichen. Geeicht wird der Apparat mit Gleichstrom; beim Kommutieren des Stromes sind die Ausschläge des Meßinstruments nahezu gleich groß. Eine Differenz von zwei bis drei Skalenteilen wird durch den Spannungsabfall in der Lötstelle verursacht. Da diese Abweichungen aber nach beiden Seiten gleich groß sind, so erhält man die richtigen Angaben, wenn man beim Eichen mit Gleichstrom den Strom wendet und aus beiden Ausschlägen das Mittel nimmt.

Die Empfindlichkeit des Apparats läßt sich wesentlich erhöhen, wenn man das Glasgefäß, in welchem das Drahtkreuz befestigt ist, evakuiert. Solange der Apparat mit der Luftpumpe in Verbindung steht, ist es möglich, bei dauerndem Pumpen mit dem gleichen Heizstrom den zehnfachen und mehr Ausschlag zu erzielen. Nach dem Abschmelzen habe ich dauernd die fünffache Empfindlichkeit erhalten.

Derselbe Apparat läßt sich nun auch als Vakuummeter benutzen und dürfte als solcher in vielen Fällen dem Mac Leodschen Instrument vorzuziehen sein. Gibt man nämlich dem Heizstrom einen bestimmten unveränderlichen Wert, so kann man aus dem Ausschlag des Gleichstrominstruments auf die Höhe des erzielten Vakuums im Apparat und den damit verbundenen Gefäßen schließen. Wie einige Vorversuche zeigten, trat eine bestimmte Lichterscheinung in einer Röntgenröhre, welche zusammen mit dem Vakuummeter gleichzeitig leergepumpt wurde, immer bei derselben Zeigerstellung des Meßinstruments ein. Zur genaueren Feststellung der Verhältnisse habe ich die Angaben meines Apparats direkt mit den Ablesungen an einem vorher kalibrierten Quecksilber-Vakuummeter nach Mac Leod verglichen. Als Meßinstrument diente ein Zeigermillivoltmeter der Firma Keiser & Schmidt (Widerstand 160 Ohm, max. Ausschlag = 10 Millivolt). Der Heizstrom von 0,085 Amp. wurde einigen Akkumulatoren unter Vorschaltung eines größeren Konstantanwiderstandes entnommen; derselbe hielt sich dauernd auf gleicher Höhe. Die folgende Tabelle und die Kurve (Fig. 2) zeigen die Resultate.

Tabelle.

1. Versuchsreihe.		2. Versuchsreihe.	
Mac Leod Druck in mm	Ausschlag in Skalenteilen	Mac Leod Druck in mm	Ausschlag in Skalenteilen
1,64	17,4	0,88	22,0
0,768	25,4	0,345	42,2
0,383	44,0	0,16	71,3
0,146	76,2	0,112	87,6
0,085	101,0	0,087	98,8
0,041	123,0	0,069	108,2
0,0213	137,0	0,048	120,0
0,004	149,5	0,038	126,6
0,002	151,0	0,0036	146,7

Die Abszissen in der Fig. 2 stellen die mit dem Mac Leodschen Vakuummeter ermittelten

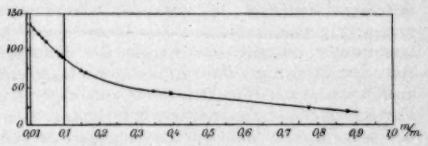


Fig. 2.

Drucke von 1 bis 0 mm in fortlaufendem Maßstab dar, die Ordinaten bezeichnen die Ausschläge des Zeigerinstruments in Skalenteilen. Die Werte der ersten Versuchsreihe sind als Kreuze, die der zweiten Versuchsreihe, welche zwei Tage nach der ersten aufgenommen wurde, sind als Kreise in der Fig. 2 aufgetragen.

Wie die Kurve zeigt, wachsen die Angaben des Apparats von 1 mm Druck an zunächst ziemlich proportional mit abnehmendem Druck, von etwa 0,3 mm ab erfolgt das Wachsen derselben schneller als der Druck abnimmt und in dem Gebiete zwischen 0,1 und 0,01 mm Druck erreichte die Kurve ihre größte Steigung. Wie sich der Verlauf der Kurve jenseits von 0,005 mm gestaltet, habe ich nicht feststellen können. Nach Versuchen, die Herr Lebedew[1]) mit Vakuumthermoelementen angestellt hat, liegt das Maximum der Empfindlichkeit bei 0,01 mm Druck, von hier ab steigt die Empfindlichkeit wieder langsamer, die Kurve dürfte demnach von etwa 0,01 mm an wieder weniger steil verlaufen. — Spuren von Feuchtigkeit verändern die Empfindlichkeit wesentlich, müssen daher peinlichst vermieden werden. Es wird

1) Ann. d. Physik **9**, 209, 1902.

zweckmäßig sein, vor den Apparat eine Trockenröhre mit Phosphorpentoxyd zu schalten und ferner den Apparat bei Nichtbenutzung der Pumpe durch einen Glashahn von der Außenluft abzusperren. Als Meßinstrument kann man jedes Millivoltmeter für 5 bis 10 Millivolt benutzen, also Instrumente, wie sie zur Messung hoher Temperaturen auf thermoelektrischem Wege häufig verwendet werden. Die Größe des Heizstromes von 0,06 bis 0,1 Amp. richtet sich nach der Empfindlichkeit des Millivoltmeters; Heizstrom und E.M.K. des Thermoelementes können mit demselben Instrument gemessen werden, wenn man einen passenden Nebenschluß zu demselben benutzt.

Natürlich muß jeder Apparat dieser Art geeicht werden. Die Eichung dürfte sich am einfachsten in der Form gestalten, daß man z. B. angibt, bei dem Heizstrom von 0,085 Amp. erhält man an den Klemmen des Thermoelements eine E.M.K. von 10 Millivolt, wenn der Luftdruck im Apparat 0,06 mm beträgt und die verschiedenen Werte für Druck und Millivolt in einer Kurve festlegt. — Der Vorteil des beschriebenen Apparats bei der Druckmessung gegenüber dem Mac Leodschen Vakuummeter besteht zunächst in der einfachen Art der Messung; ohne irgendeinen Handgriff ausführen zu müssen, kann man am Zeiger das Fortschreiten der Evakuierung beobachten. Hierbei werden die kleinsten Änderungen im Vakuum sichtbar, welche auf andere Weise kaum zu erkennen sind. Läßt man z. B. beim Auspumpen einer Röhre nur eine Sekunde lang einen Strom durch die Röhre fließen, so geht der Zeiger des Instruments sofort um einige Skalenteile zurück, ein Zeichen, daß durch die Erwärmung der Elektroden das Vakuum wieder zurückgegangen ist. Ein weiterer Vorteil besteht in dem geringen Raumbedürfnis des Apparats; derselbe dürfte sich ohne weiteres an jeder Pumpe anbringen lassen. Den größten Vorteil aber sehe ich darin, daß man das kleine Glasgefäß mit Drahtkreuz an jede länger zu beobachtende Vakuumröhre anschmelzen kann und so ein Mittel hat, den Zustand des Luftdrucks in der von der Pumpe abgetrennten Röhre jederzeit zu kontrollieren.

Der in Fig. 3 in $^2/_3$ natürlicher Größe abgebildete Apparat gestattet also eine vielseitige Verwendung. Evakuiert und zugeschmolzen dient er in Verbindung mit Galvanometern von verschiedener Empfindlichkeit zum Messen schwacher Wechselströme von 0,001 bis 0,1 Amp.

An die Luftpumpe angeschlossen geben die Ausschläge des Zeigerinstruments bei konstantem Heizstrom ein Bild von der Höhe des erreichten Vakuums. Endlich dürfte der Apparat bei genauen Beobachtungen der Wärmeleitung

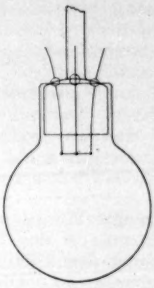


Fig 3.

verdünnter Gase, bei der Bestimmung der Fortpflanzung des Luftdruckes in Kapillarröhren und bei ähnlichen Untersuchungen gute Dienste leisten.

Es wäre zu wünschen, daß besonders hinsichtlich der noch näher zu prüfenden Verwendbarkeit des Apparats als Vakuummeter weitere Versuche angestellt würden.

Erwähnen will ich noch, daß der Apparat, wie auch die Glasteile zu demselben von F. Ehrenberg, Hamburg, Herrlichkeit 49, hergestellt werden.

Hamburg, Physikal. Staatslaboratorium, 15. Mai 1906.

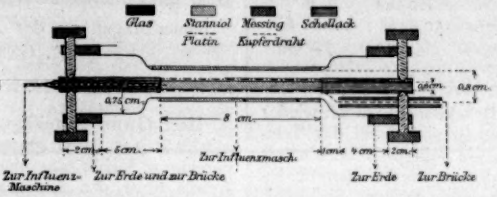
(Eingegangen 18. Mai 1906.)

Bemerkung zur Arbeit des Herrn Bose über Widerstandsänderungen dünner Metallschichten durch Influenz.

Von Robert Pohl.

Herr Bose hat in Nr. 11 (S. 373) dieser Zeitschrift in einer vorläufigen Mitteilung über eine Methode zur Messung der Zahl der Elektronen in Metallen berichtet. Diese Methode fußt auf der Messung der Widerstandsänderung, die dünne Metallstreifen unter dem Einfluß influenzierender Ladungen erleiden. Da ich zurzeit auf Anregung von Herrn Prof. Drude mit einer ähnlichen Frage beschäftigt bin, unternahm ich es, die Versuche des Herrn Bose zu wiederholen. Leider ist es mir nicht gelungen, das Ergebnis zu bestätigen.

Die Versuchsanordnung suchte ich soweit wie möglich der von Herrn Bose nur in großen Zügen beschriebenen gleich zu gestalten: Eine Wheatstonsche Brücke mit einem Galvanometer von 50 Ω Widerstand und einer Empfindlichkeit von 10^{-9} Amp. gestattete, Schwankungen im Widerstand der zu prüfenden Metallschicht mit Leichtigkeit auf einige Zehntel pro Mille zu ermitteln. Die Metallschicht bestand aus einem



mit Kundtscher Flüssigkeit auf Glimmer eingebrannten Platinstreifen 5×10 cm, und hatte bei einer Dicke von $5 \cdot 10^{-7}$ cm einen Widerstand von 103 Ohm. Sie lag zwischen zwei mit Schellack auf einer Seite gut bezogenenen Glasplatten von 13×18 cm, die unter Zwischenschaltung eines Rahmens aus Zinnfolie zusammengepreßt waren. Dieser Rahmen wurde geerdet, um eine Überleitung der Elektrizität von den auf den schellacküberzogenen Außenseiten der Glasplatten befestigten influenzierenden Belegungen auf den Platinstreifen zu verhindern, da diese Fehlerquelle nach einigen rohen Vorversuchen als die am meisten zu fürchtende erkannt war.

Wurden die Belegungen mit Hilfe einer Influenzmaschine aufgeladen, so ergab das Galvanometer sofort einen Ausschlag, der bei einem Potential von 12000 Volt einer Widerstandsänderung von etwa 2‰ entsprach. Wurde dieser Ausschlag einer Änderung des Widerstandes durch Änderung des Elektronengehaltes zugeschrieben, so ergab sich bei Durchführung der Berechnung (nach dem von Herrn Bose benutzten Schema) für die Menge der Elektronen in 1 cm³ Platin der Wert

$$5 \cdot 10^{20}.$$

Dies stimmt auffallend — und zwar in gewissen Grenzen sicher zufällig — mit dem von Herrn Bose gefundenen Mittelwert

$$4{,}3 \cdot 10^{20}$$

überein.

Herr Bose selbst gibt allerdings in seiner Arbeit als Mittelwert

$$1 \cdot 10^{22},$$

doch ist hier ein Versehen untergelaufen, indem bei der Berechnung der auf 1 cm³ bezogenen Vermehrung oder Verminderung der Elektronen die von der Ladung gebundene Anzahl in der Schicht statt durch das Volumen der Schicht nur durch die Dicke der Schicht dividiert ist. Der von Herrn Bose angegebene Mittelwert erscheint daher um das 23fache zu groß.[1])

1) Außerdem findet sich in den für die Vermehrung oder Verminderung der Elektronen im cm³ angegebenen Zahlen ein Druckfehler. Statt

$0{,}22 \cdot 10^{19}$. $0{,}13 \cdot 10^{19}$. $0{,}04 \cdot 10^{19}$. $1{,}0 \cdot 10^{19}$

muß es heißen

$0{,}22 \cdot 10^{20}$. $0{,}13 \cdot 10^{20}$. $0{,}04 \cdot 10^{20}$. $1{,}0 \cdot 10^{20}$.

Es war aber ein leichtes, zu zeigen, daß der obiger Rechnung zugrunde liegende Ausschlag des Galvanometers nicht von einer Widerstandsänderung des Platinstreifens herrührte, sondern daß trotz der oben bemerkten Vorsichtsmaßregel die Elektrizität von den Belegungen durch irgendwelche Leitung auf den Streifen und von ihm zum Teil durchs Galvanometer zur Erde ging. Denn der Sinn des Ausschlags war unabhängig von der Richtung des Brückenstromes und der Ausschlag trat sogar ohne Schließen der letzteren ein, was natürlich nur bei einer Überleitung der Elektrizität der Fall sein konnte. Da aber immerhin an die Möglichkeit zu denken war, daß eine, wenn auch geringe tatsächliche Änderung des Widerstandes durch Überleitung verdeckt würde, so wurde, um die letztere unschädlich zu machen, die Brücke statt mit Gleichstrom mit Wechselstrom betrieben und das Galvanometer durch ein Telephon ersetzt. Eine Widerstandsänderung von 0,5‰ war leicht zu bemerken, doch zeigte die Erregung des Feldes zwischen Belegung und Platinstreifen nicht die geringste Wirkung, mochte die influenzierende Ladung positives oder negatives Vorzeichen haben.

Nach diesen durchaus erfolglosen Versuchen ging ich an die Verfertigung eines Widerstandes, der von der störenden Überleitung der Elektrizität auf den Platinstreifen frei sein sollte. Der Platinstreifen erhielt Zylinderform, wurde auf einem Glasrohr mit Kundtscher Platinierungsflüssigkeit eingebrannt und zwischen die Belegungen in der Art eingebaut, wie es die Figur mit zugehörigen Maßen veranschaulicht. Das Wesentliche sind natürlich die auf dem äußeren und inneren Rohre mit heißem Schellack befestigten breiten Erdringe, die der Elektrizität von den Belegungen zum Streifen wohl keinen anderen Weg als durch das Glas selbst freizulassen versprachen. Die Abmessungen des Streifens, Kapazität der Belegungen usw. gibt die folgende Tabelle, in der entsprechende Werte aus der Arbeit des Herrn Bose (3. Versuchsreihe) hinzugezogen sind.

	Bose	P.
Länge des Streifens	10,4 cm	8 cm
Breite „ „	2,5 „	1,9 „
Dicke „ „	$20 \cdot 10^{-7}$ „	$13 \cdot 10^{-7}$ „

	Bose	P.
Widerstand des Streifens	52,8 Ω	44,2 Ω
Kapazität der Belegungen	69 cm	72 cm
Änderung des Widerstandes bei 21 000 Volt	0,1 Ω	—

Zum Betriebe der Brücke wurde zuerst wieder Wechselstrom genommen und dabei das Telephon zur Vorsicht in ein ruhiges Nebenzimmer gebracht. 1‰ Änderung des Widerstandes wurde leicht und mit vollkommener Sicherheit von sechs Beobachtern erkannt. Kein einziger hingegen war fähig, bei Aufladung der Belegungen auf 17 000 Volt auch nur die geringste Änderung des Tonminimums wahrzunehmen. Die Angaben des Herrn Bose ließen eine Widerstandsänderung von fast 2‰ erwarten, die man schon mühelos bei einigem Abstand des Telephons von der Ohrmuschel hätte vernehmen müssen.

Sodann wurde Gleichstrom genommen. Die Empfindlichkeit erhöhte sich bis zur Wahrnehmbarkeit von sicher $^1/_{10}$‰. Die Erregung des Feldes bis auf 15 000 Volt gab einen ganz geringen Ausschlag, entsprechend einer Widerstandsänderung von höchstens 1—2 Zehntel pro Mille. Doch war sein Sinn wiederum unabhängig von der Richtung des Brückenstromes, ja, auch hier brauchte der Brückenstrom nicht einmal geschlossen zu sein. Der Ausschlag rührte also wieder von Leitung her, die allerdings so gering war, daß ich sie bereits auf Rechnung des Leitvermögens des Glases setzen möchte.

Für einen letzten Versuch wurde ein neuer Platinstreifen von zylinderförmiger Gestalt und gleicher Fläche wie der vorige hergestellt, aber mit höherem Widerstand, und zwar 440 Ω. Der ihm am nächsten kommende Streifen bei den Versuchen des Herrn Bose hatte bei ungefähr gleichen Abmessungen 329 Ohm Widerstand und gab bei einem Potential von 21 000 Volt auf den Belegungen eine Widerstandsänderung von 0,51 Ω, d. h. rund 2‰. — Die Brücke wurde wiederum mit Gleichstrom betrieben und die influenzierenden Belegungen auf 17 000 Volt geladen. Der Ausschlag des Galvanometers gab 3—4 Skalenteile einer Änderung des Widerstandes von $^1/_{10}$‰ entsprechend. Doch auch dieser Ausschlag des Galvanometers war gänzlich unabhängig vom Brückenstrom, erfolgte sogar wieder ohne denselben, war also irgendwelcher Überleitung zuzuschreiben; daher auch dieser Versuch als mißlungen zu betrachten ist.

Berlin, Physikalisches Institut der Universität. 16. Juni 1906.

(Eingegangen 18. Juni 1906.)

Über ein rotierendes elektromotorisches Feld.

Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn R. Gans.

Von A. H. Bucherer.

Herr Gans verteidigt sich in dieser Zeitschrift 7, 342, 1906 gegen den Vorwurf einer voreiligen Kritik an einer A. Pflügerschen Arbeit über den Erdmagnetismus. Ich überlasse es in Übereinstimmung mit Herrn Pflüger dem Leser, sich von der Berechtigung dieses Vorwurfs zu überzeugen, indem ich ihn auf die Erwiderung Pflügers, l. c. 7, 162 und auf meine Arbeit l. c. 7, 256, 1906 verweise. Die folgenden Ausführungen sollen sich darauf beschränken, irrige Auffassungen des Herrn Gans bezüglich gewisser fundamentaler Fragen des Elektromagnetismus zu widerlegen.

1. Wenn Herr R. Gans behauptet, die Searlesche Ableitung der ponderomotorischen Kräfte eines elektromagnetischen Feldes auf mitbewegte Pole und Ladungen seien in der Lorentzschen Elektronentheorie nicht gültig, weil Searle auf dem Boden der Maxwell-„Hertz"-schen Theorie stehe, so lassen sich dagegen zwei Einwände erheben. Erstlich steht Herr Searle auf dem Standpunkte der Heavisideschen und nicht der Hertzschen Theorie. Daß zwischen diesen beiden Theorien weitgehende Analogien bestehen, ist bekannt. Aber gerade bei der Behandlung der Bewegung von elektrischen Ladungen führen sie zu abweichenden Resultaten. Nach Hertz werden z. B. die Kräfte, welche zwei geladene Körper aufeinander ausüben, durch eine gemeinsame Translation nicht geändert; anders bei Heaviside. — Ferner hat aber Herr Gans übersehen, daß die Gleichungen Heavisides mit den Lorentzschen identisch werden, wenn es sich um die Bewegung von Ladungen im reinen Äther handelt. Wenn ich also meinen Arbeiten über die Rotation geladener Körper die Gleichungen voranstelle, welche Lorentz für Vorgänge im reinen Äther angibt, so müssen meine Resultate dieselben sein, welche Searle auf dem Boden der Maxwell-Heavisideschen Theorie ableiten würde. Somit fallen alle Gegensätze, welche Herr Gans zwischen den beiden Theorien konstruiert hat und damit auch die Einwände gegen meine Berechnung der erwähnten ponderomotorischen Kräfte fort.

2. Wenn Herr Gans behauptet, es seien von mir die Kompensationsladungen nicht berücksichtigt, so übersieht er, daß die von mir angewandte Methode zu denselben Resultaten führen muß, wie die Anwendung des Prinzips der Kompensationsladungen. Wenn Herr Gans den Spezialfall der translatorischen Bewegung

eines Kondensators einmal durchrechnet, wird er sich hiervon überzeugen.

3. Daß in der Theorie mit Begriffen operiert wird, welche zwar an der Hand der Erfahrung gewonnen sind, deren exakte experimentelle Verwirklichung aber nur annäherungsweise erzielt wird, ist eine zu elementare Wahrheit, als daß ich hier länger dabei zu verweilen brauchte. Ein magnetischer Einheitspol ist ein solcher Begriff. Es ist Sache des Experimentators, die Bedingungen des Experiments möglichst so zu wählen, daß die Voraussetzungen der Theorie zutreffen.

4. Trotzdem Herr Gans nach umständlichen Rechnungen über die ponderomotorischen Kräfte auf mitbewegte Pole und Ladungen am Ende seiner Arbeit nicht einmal zu einer expliziten Angabe der von mir so einfach berechneten Werte gelangt, hat er auch noch eine wesentliche Einschränkung übersehen. Ich habe nämlich meine Berechnungen ausdrücklich auf stationäre Felder beschränkt, d. h. auf Felder, bei denen Strahlungen ausgeschlossen sind. Wie die Berechnungen des Herrn Gans dastehen, sind sie im allgemeinen falsch. Man denke sich eine im Felde befindliche Probeladung mitrotierend. Diese Ladung wird eine Strahlung aussenden und es werden neue Kräfte durch diese Strahlung bedingt. Nur wenn die Winkelgeschwindigkeit der Rotation so gering ist, daß w^2 gegen w verschwindet, können diese vernachlässigt werden.

5. Zum Schlusse möchte ich nicht verfehlen, hervorzuheben, daß die Ausführungen des Herrn Gans mich nicht veranlassen können, an meinen Veröffentlichungen über das Feld einer rotierenden Ladung etwas zu ändern oder hinzuzufügen.

Bonn, Physik. Institut, den 30. Mai 1906.

(Eingegangen 1. Juni 1906.)

Bemerkungen zu einem thermochemischen Satze Julius Thomsens.

Von Emil Bose.

Julius Thomsen, der Altmeister kalorimetrischer Messungen, hat im ersten Bande seiner: „Thermochemischen Untersuchungen" in Kapitel 4 eine interessante Betrachtung angeknüpft an die Bestimmungen der Mischungswärmen und spezifischen Wärmen von Wasser-Alkoholgemischen, die von Dupré und Page ausgeführt worden sind. Seine Rechnungen führen ihn zu dem Schluß, daß aus jenen Versuchen von Dupré und Page deutlich hervorgeht,

„daß beim Siedepunkt der Alkoholmischungen oder unweit desselben sich die Bestandteile der Mischung ohne Wärmetönung trennen und daß demnach auch das Mischen von Alkohol und Wasser bei dem Siedepunkte der entstehenden Mischung ohne Wärmetönung geschieht."

Dieser auch in der Thomsenschen Darstellung gesperrt hervorgehobene Satz würde überaus interessant sein, wenn man Grund hätte zu vermuten, daß er eine gewisse Allgemeingültigkeit besäße. Dies ist aber schon an sich keineswegs wahrscheinlich, und auch Thomsen schließt vorsichtigerweise daran die Bemerkung: „Da der Siedepunkt sich mit dem Druck ändert, so ist wohl das Zusammenfallen der besprochenen Temperatur mit dem normalen Siedepunkte ein zufälliges." Weiterhin fügt Thomsen hinzu, daß zur genaueren Prüfung und Entscheidung noch Versuche über die spezifischen Wärmen der Wasser-Alkoholgemische bei höheren Temperaturen fehlen. Thomsen operiert nämlich mit dem Satze der Thermodynamik, daß die Abweichung der spezifischen Wärme einer Mischung von der Mischungsregel den mit entgegengesetztem Vorzeichen genommenen Temperaturkoeffizienten der Mischungswärme ergibt.

Späterhin hat nun Blümcke spezifische Wärmebestimmungen an Wasser-Alkoholgemischen ausgeführt und seine Zahlen zur Neuprüfung des Thomsenschen Satzes verwendet. Er äußert sich am Schluß seiner Abhandlung dahin, daß seine Versuche weniger gut mit der Thomsenschen Theorie übereinstimmen, als die von diesem benutzten Zahlen, daß sie aber immerhin nicht geeignet sind Thomsens Schlüsse umzustoßen.

Ich bin nun in der Lage, an direkten Messungen der Mischungswärmen bei verschiedenen Temperaturen zu zeigen, daß der Thomsensche Satz einmal nur eine rohe Annäherung an die Wirklichkeit darstellt und daß derselbe auch nur beim Äthylalkohol aufgestellt werden konnte, bei welchem rein zufälligerweise die Nullwerte der Wärmetönungen in der Nähe der Siedepunkte liegen. Das ausführliche Beobachtungsmaterial, aus welchem die unten stehenden Zahlen erhalten sind, wird demnächst an anderer Stelle in extenso publiziert werden. Desgleichen kann es nicht der Zweck dieser Zeilen sein, die Methodik der Beobachtungen hier näher zu behandeln. Es sollen vielmehr lediglich für je drei Temperaturen die Werte der molekularen Mischungswärmen für die drei Systeme

Äthylalkohol-Wasser
Methylalkohol-Wasser
Propylalkohol-Wasser

von 5 zu 5 Prozent Wassergehalt tabellarisch und graphisch zusammengestellt werden. Einige

mit Äthylalkohol bezw. Propylalkohol noch bei einer vierten Temperatur ausgeführte Versuche sind ebenfalls in die Tabellen und Kurvenzeichnungen aufgenommen, und können zur Vervollständigung des Gesamtbildes dienen.

Molekulare Mischungswärmen von Äthylalkohol mit Wasser.

(1 Grammolekül Äthylalkohol bei der Temperatur t mit so viel Wasser gemischt, daß die Mischung p Gewichtsprozente Wasser enthält, gibt die in der Tabelle gegebenen Wärmetönungen in gr-Kalorien.)

Gewichtsproz. Wasser p	$t = 0{,}00^0$	$t = 17{,}33^0$	$t = 42{,}05^0$	$t = 73{,}6^0$
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	57,6	36,8	1,84	—39,1
10	102,7	70,9	8,29	—66,3
15	146,0	105,5	19,34	—88,9
20	192,5	144,1	36,8	
25	250,5	192,0	62,2	
30	324,2	251,9	93,5	
35	413,5	326,0	134,5	
40	520,4	414,5	184,2	
45	647,9	525,0	246,8	
50	800,3	650,2	327,0	
55	990,1	799,4	426,9	
60	1239	978,6	538,8	
65	1529	1197	667,7	
70	1842	1441	819,7	
75	2174	1708	990,1	
80	2505	1985	1170	
85	2814	2224	1363	
90	3090	2413	1552	+553
95	3279	2579	1603	746
100	[3408]	[2643]	[1672]	[840]

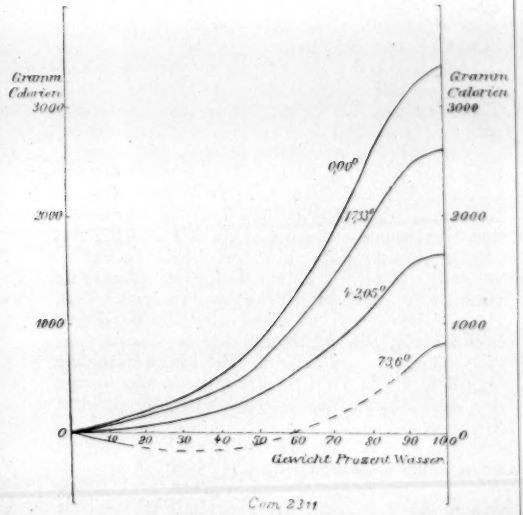


Fig. 1.

Molekulare Mischungswärmen von Methylalkohol mit Wasser.

(Wird bei der Temperatur t ein Gramm Molekül Methylalkohol mit so viel Wasser gemischt, daß die Mischung p Gewichtsprozente Wasser enthält, so ergeben sich die folgenden Wärmetönungen.)

Gewichtsproz. Wasser p	$t = 0{,}00^0$ C	$t = 19{,}69^0$	$t = 42{,}37^0$
0	0,00	0,00	0,00
5	64,1	56,7	29,5
10	120,4	107,9	66,0
15	174,2	162,7	107,3
20	227,1	210,4	148,0
25	282,8	262,3	188,0
30	340,8	317,1	228,7
35	406,8	374,8	272,9
40	477,2	442,0	323,5
45	554,1	518,9	381,2
50	643,8	599,0	442,0
55	749,5	695,1	515,7
60	871,2	807,2	592,6
65	1015,4	932,1	682,2
70	1166	1063	775,1
75	1336	1188	871,2
80	1518	1332	967,3
85	1685	1470	1070
90	1970	1608	1172
95	2024	1685	1243
100	[2060]	[1714]	[1297]

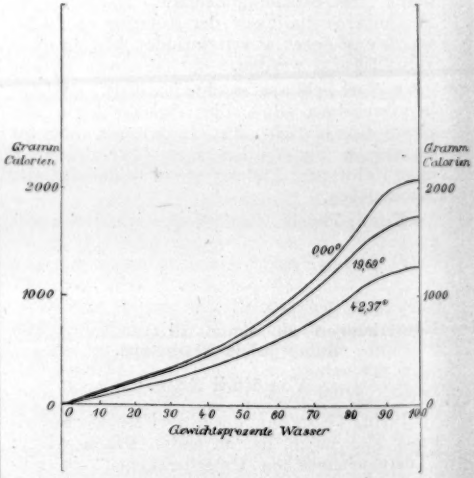


Fig. 2.

Molekulare Mischungswärmen von normalem Propylalkohol mit Wasser.

(1 Grammolekül Propylalkohol bei der Temperatur t mit so viel Wasser gemischt, daß die Mischung p Gewichtsprozente Wasser enthält,

gibt die in der Tabelle angegebenen Wärmetönungen in gr-Kalorien.

Gewichtsproz. Wasser p	$t = 0{,}00^0$	$t = 21{,}03^0$	$t = 43{,}44^0$	$t = 79{,}7^0$
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	−6,4	−28,8	−72,1	
10	0,0	−49,8	−127,9	
15	+14,4	−58,9	−167,6	
20	41,4	−48,6	−188,6	
25	81,7	−31,8	−190,4	
30	134,5	0,0	−185,6	
35	200,6	+41,4	−175,4	
40	283,5	91,9	−158,0	
45	387,4	155,0	−134,5	
50	515,3	231,8	−103,3	
55	678	329,7	−60,1	
60	889	456,5	0,00	
65	1153	618,6	+72,1	
70	1514	829	166,4	
75	1994	1099	295,5	
80	2553	1477	480	
85	3027	1904	727	
90	3387	2210	931	−960
95	3604	2462	1117	−660
100	[3750]	[2613]	[1250]	

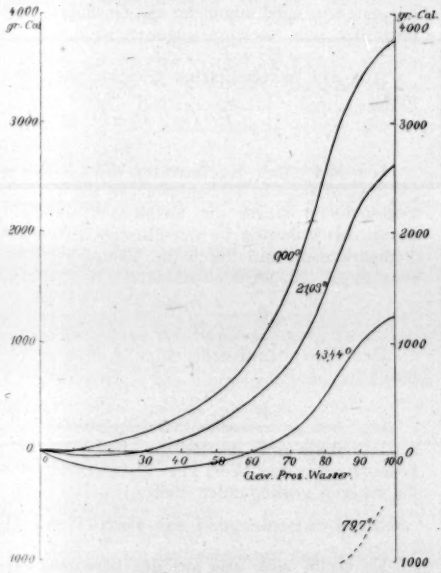


Fig. 3.

Eine nähere Betrachtung der Tabellen und Kurven zeigt, daß die Wärmetönungen beim Äthylalkohol schon früher negativ werden als der Siedepunkt der betreffenden Mischung erreicht wird. Die These Thomsens gilt also auch beim Äthylalkohol nur in sehr roher Annäherung. Beim Methylalkohol, dessen Wassergemische erheblich niedriger sieden als die Äthylalkoholgemische gleichen Prozentgehaltes, bleibt die Wärmetönung beim Siedepunkt meist noch erheblich positiv. Die Abweichungen von dem Thomsenschen Satze werden hier vielleicht etwas weiter nach der positiven, wie bei jenem nach der negativen Seite liegen. Nimmt man nun aber die Resultate beim Propylalkohol hinzu, so zeigen diese einen Vorzeichenwechsel der Wärmetönung bei Temperaturen, welche weit unter den Siedepunkten liegen und machen es damit evident, daß jene Folgerung Julius Thomsens der rein zufälligen Konstellation der Zahlen bei den Äthylalkohol-Wassergemischen ihren Ursprung verdankt. Die Genauigkeit des der Thomsenschen Rechnung zugrundeliegenden Zahlenmaterials war eine derartige, daß die Abweichungen damals durchaus in den Versuchsfehlern liegen konnten. Durch den Übergang zu anderen Substanzpaaren erst war es möglich, über die Bedeutung des an der Spitze dieser Ausführungen gestellten Satzes Klarheit zu gewinnen. Es möge hier nur noch beiläufig darauf hingewiesen sein, daß meine Mischungsversuche bei verschiedenen Temperaturen zusammen mit von mir gemeinsam mit Herrn Müller ausgeführten Versuchen über die spezifischen Wärmen der untersuchten Gemische eine Prüfung des thermodynamischen Satzes ermöglichte, nach welchem die Änderung der Wärmetönung mit der Temperatur entgegengesetzt gleich ist der Abweichung der spezifischen Wärme von der Mischungsregel. Diese Folgerung der Thermodynamik findet sich bei niederen Temperaturen für Wasser-Alkoholgemische vorzüglich bestätigt, bei höheren Temperaturen (über 40°) werden die Fehlerquellen dagegen erheblich größer, so daß hier die Übereinstimmung zwischen beiden Größen noch etwas zu wünschen übrig läßt. Wie übrigens ein Vergleich meiner Wärmetönungen beim Äthylalkohol mit den von Thomsen benutzten Werten von Dupré und Page zeigt, besteht zwischen beiden im allgemeinen eine zufriedenstellende Übereinstimmung.

(Eingegangen 10. Juni 1906.)

Über eine neue Methode, den Ausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten zu bestimmen

Von Giovanni Costanzo.

Bezeichnet man mit Δ den absoluten Ausdehnungskoeffizienten einer Flüssigkeit, mit δ den scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten derselben Flüssigkeit, und mit k den kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Gefäßes, in welchem die Flüssigkeit enthalten ist, so besteht bekanntlich die Beziehung

$$\Delta = \delta + k + \delta k .$$

Da hier nun δk das Produkt aus zwei sehr kleinen Brüchen ist, so kann man es vernachlässigen; somit erhält man ohne merklichen Fehler die Gleichung

$$\Delta = \delta + k. \qquad (1)$$

Der Zweck dieser meiner Veröffentlichung ist, eine neue Methode zur experimentellen Bestimmung des Koeffizienten Δ mitzuteilen, eine Methode, welche ich als „hydrostatische" Methode bezeichnen möchte, deshalb, weil sie sich auf den Gebrauch der hydrostatischen Wage stützt.

Es sei R (siehe die Figur) ein nach Art der Pyknometerfläschchen gefertigtes Glasgefäß, welches oben in einen langen, schlanken und gut kalibrierten Hals von bekanntem inneren Querschnitt s ausläuft. Die Kapazität von R bis zu einer bestimmten am Halse angebrachten Marke H_0 bei der Temperatur 0^0 C sei U_0; das äußere Volumen bis zur gleichen Marke H_0 und ebenfalls bei der Temperatur 0^0 sei V_0.

R wird mit der zu untersuchenden Flüssigkeit bei 0^0 bis zur Marke H_0 gefüllt und in Luft gewogen. Das so erhaltene Gewicht sei P. Alsdann hängt man den so weit gefüllten Ballon R an die Schale einer Präzisionswage und taucht ihn bis an die Marke H_0 in ein mit Wasser von einer bestimmten Temperatur t^0 gefülltes Gefäß. Beim Übergang von der Temperatur 0^0 auf die Temperatur t^0 — die von einem in das Wasser eintauchenden Thermometer angegeben wird — wird die in R enthaltene Flüssigkeit ihr Volumen vergrößern, und infolgedessen wird ihr Niveau im Halse des Fläschchens von H_0 bis zu einer gewissen Marke H_t steigen. Das Volumen des Fläschchens R wird gleichfalls zunehmen, und um das Gleichgewicht der Wage herzustellen, wird man auf die andere Wagschale eine gewisse Anzahl von Gewichten P_t legen müssen, welche durch die Gleichung

$$P_t = P - V_t d_t$$

gegeben sein wird. Hier bezeichnet V_t das äußere Volumen des Gefäßes R bis zur Marke H_0, wenn es sich auf der Temperatur t^0 befindet, und d_t die Dichtigkeit des Wassers bei derselben Temperatur von t^0.

Nunmehr bringt man das Wasser, sowie die in R enthaltene Flüssigkeit von der Temperatur t^0 auf die Temperatur t'^0, und zwar sei $t' > t$. Das Gefäß R und die in ihm befindliche Flüssigkeit werden sich ausdehnen, und die freie Oberfläche der Flüssigkeit wird von H_t nach $H_{t'}$ steigen, während das ganze eintauchende System einen von unten nach oben gerichteten Auftrieb erleiden wird, welcher gegeben sein wird durch den Ausdruck $V_{t'} d_{t'}$. Hier bezeichnet $V_{t'}$ das Volumen von R bis an die Marke H_0, wenn R auf die Temperatur t'^0 gebracht ist, und $d_{t'}$ die Dichte des Wassers bei t'^0. Um das Gleichgewicht der Wage herzustellen, wird nunmehr ein Gewicht $P_{t'}$ erforderlich sein, welches gegeben ist durch

$$P_{t'} = P - V_{t'} d_{t'}.$$

Aus den beiden letzten Gleichungen erhält man:

$$V_{t'} - V_t = \frac{P - P_{t'}}{d_{t'}} - \frac{P - P_t}{d_t}.$$

Der Wert des Koeffizienten δ ist offenbar gegeben durch die Höhenzunahme der Flüssigkeitssäule im Halse des Gefäßes R, dividiert durch das Volumen U_0 der Flüssigkeit bei der Temperatur 0^0 und durch die Temperaturdifferenz $t' - t$. Es wird also sein:

$$\delta = \frac{s \cdot H_t H_{t'}}{U_0 (t' - t)}. \qquad (2)$$

Der Wert des Koeffizienten k ist gegeben durch

$$k = \frac{V_{t'} - V_t}{V_0 (t' - t)};$$

berücksichtigt man hierbei die oben abgeleitete Beziehung für den Wert $V_{t'} - V_t$, so erhält man für unseren vorliegenden Fall:

$$k = \frac{1}{V_0 (t' - t)} \left(\frac{P - P_{t'}}{d_{t'}} - \frac{P - P_t}{d_t} \right). \qquad (3)$$

Es ergibt sich also aus der Gleichung (1):

$$\Delta = \frac{1}{t' - t} \left[\frac{s \cdot H_t H_{t'}}{U_0} + \frac{1}{V_0} \left(\frac{P - P_{t'}}{d_{t'}} - \frac{P - P_t}{d_t} \right) \right]. \qquad (4)$$

Um den genauen Wert für Δ zu erhalten, müßte man zu dem zweiten Gliede dieser letzten Gleichung noch das Produkt δk hinzufügen, welches man aus den Gleichungen (2) und (3) erhalten würde; indessen ist dies, wie bereits eingangs erwähnt wurde, praktisch nicht erforderlich.

Das zweite Glied der Gleichung (4) enthält die beiden Größen d_t und $d_{t'}$; diese sind bekannt.[1]) Die Werte der übrigen Größen lassen sich leicht bestimmen. Einige von ihnen können sogar ein für allemal bestimmt werden, weil sie für einen und denselben Apparat konstant sind, nämlich die Werte von δ, U_0 und V_0. Die übrigen Bestimmungen reduzieren sich auf die unvermeidlichen Temperaturmessungen, auf die Bestimmung der Länge $\overline{H_t H_{t'}}$ und auf Massenbestimmungen.

Ich will hier nicht auf die Einzelheiten eingehen, welche bei der tatsächlichen Ausführung des Apparates empfehlenswert sind, wie besonders die Maßregeln zur Konstanthaltung der Temperaturen t^0 und t'^0 während der Wägung. Jeder mit praktischen Messungen einigermaßen vertraute Experimentator weiß von Fall zu Fall die geeigneten Anordnungen zu ersinnen und auszuführen.

Ich habe mich darauf beschränkt, die Bestimmung des Wertes von A, soweit ich vermochte, zurückzuführen auf die Bestimmung von Massen, das heißt auf den Gebrauch der Wage, des empfindlichsten Instrumentes, über welches die Physik verfügt, vielleicht des einzigen, welches — innerhalb von Fall zu Fall durch den Experimentator festzustellender Grenzen — eine mathematisch genaue Messung erlaubt.

Wie ersichtlich, liefert Gleichung (3) den Wert des kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Gefäßes, wenn d_t und $d_{t'}$ bekannt sind. Die Methode ließe sich somit auch zur Bestimmung der kubischen Ausdehnungskoeffizienten für viele feste Körper verwenden, besonders für Glas.

1) Sie sind aus den bekannten Tabellen von Rossetti zu entnehmen.

Bologna, St. Ludwigs-Gymnasium, im Januar 1906.

(Aus dem Italienischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 26. Mai 1906.)

Zur Theorie des Foucaultschen Pendels.

(Erwiderung auf die Bemerkung des Hrn. Tesař.)

Von A. Denizot.[1])

In einem früheren Hefte dieser Zeitschrift versucht Herr Tesař[2]) zu wiederholtem Male zu zeigen, „daß die Drehung der Pendelebene ihre Ursache in erster Linie in der Coriolisschen Kraft findet, während der Zentrifugalkraft nur die Bedeutung eines störenden sekundären Einflusses zukommt". In dieser Erwiderung beschränke ich mich nur auf einige der hauptsächlichsten Punkte der vom Verf. entwickelten Gedankenreihe.

Der Erwiderung werden noch einige Bemerkungen über die Beziehung der obigen Zentrifugalkraft zu dem allgemeinen sphärischen Pendelproblem hinzugefügt.

1. In Art. 8 seiner neuen Abhandlung stellt Herr T. ein Verhältnis auf, das, wie er glaubt, das Verhältnis der instantanen Zentrifugalkraft zu der Coriolisschen Kraft ist. Dieses Verhältnis wird aus den von Herrn T. aufgestellten Bewegungsgleichungen (1) durch Elimination der Größe R gewonnen. Zu diesem Zwecke werden die Gleichungen mit verschiedenen Faktoren multipliziert; die so erhaltenen Gleichungen, addiert bezw. subtrahiert, liefern die Gleichungen (4) bezw. (5). Die in diesen Gleichungen „von der gewöhnlichen Zentrifugalkraft herrührenden Glieder" sowie die „auf der Coriolisschen Kraft basierenden" sind alles andere, nur nicht die betreffenden Kräfte selbst. Daher ist das Verhältnis (9) auch nicht das Verhältnis der beiden in Frage kommenden Kräfte. Die vom Verf. aufgestellten Tabellen und berechneten Zahlen entbehren daher jeder Grundlage zur Beurteilung der relativen Größe dieser beiden fingierten Kräfte.

Für eine richtige Durchführung dieser Frage müßte Herr T. die beiden Kräfte einzeln berechnen, so wie er das auch in Art. 14 angedeutet, aber nicht durchgeführt hat. Für den Nordpol z. B. erhält man für die C-Kraft bzw. Z-Kraft die Beträge $2wc$ bzw. $w^2\varrho$, wo c die relative Geschwindigkeit des Körpers und ϱ dessen Entfernung von der Erdachse ist. Für $c = \frac{w\varrho}{2}$ sind beide Kräfte gleich und für kleinere Geschwindigkeiten ist die Z-Kraft größer als die C-Kraft.

Im weiteren Verlaufe seiner Entwickelungen findet Herr T., daß „die die Krümmung" der Bahn „wesentlich gestaltende Kraft nicht die Coriolissche Kraft, sondern die Reaktion des Fadens" ist. Hiermit konstruiert Herr T. wiederum ein Perpetuum mobile. Denn die Fadentension gehört zu Kräften, welche „bei jeder Lage des Punktes in der Kugelfläche unwirksam sind"[1]); die „Reaktion des Fadens" kann also in der Kugelfläche weder eine Krümmung der Bahn noch eine Pendelbewegung hervorrufen, auf welchem Um-

1) Anmerkung der Redaktion: Da nunmehr im Anschluß an die erste Mitteilung des Herrn Denizot die Herren Tesař und Denizot je zweimal das Wort ergriffen haben, wird die Diskussion zwischen Beiden hiermit geschlossen.

2) L. Tesař, diese Zeitschrift 7, 199, 1906.

1) Vergl. H. v. Helmholtz, Vorlesungen über die Dynamik diskreter Massenpunkte. Herausg. v. Otto Krigar-Menzel, S. 75, Leipzig 1898.

stande die Ableitung des Sinusgesetzes durch Herrn Tesař u. a. beruht. Daß sich Herr T. „da in bester Gesellschaft" befindet, ändert nichts an der Unrichtigkeit eines solchen Verfahrens.

2. Im Gegensatz zu der von Herrn T. ohne Beweis ausgesprochenen Behauptung, daß die Coriolissche Kraft die primäre, die instantane Zentrifugalkraft die sekundäre Ursache der Erscheinung am Foucaultschen Pendel sei, will ich im folgenden zeigen, daß auch bei dem allgemeinen sphärischen Pendelproblem der instantanen Zentrifugalkraft zunächst mindestens dieselbe Existenzberechtigung wie der Coriolisschen Kraft zugeschrieben werden muß, wenn man nicht von vornherein auf eine einwandfreie Betrachtung verzichten will. Die Untersuchung führe ich zunächst nur für den Nordpol durch, da man hier keine Vernachlässigungen und Näherungsrechnungen nötig hat. Für beliebige Breiten ist die Rechnung nicht so einfach.

Die betreffenden Gleichungen lauten:

$$\begin{aligned} x'' &= w^2 x - 2\,w\,y' - R\frac{x}{l} \\ y'' &= w^2 y + 2\,w\,x' - R\frac{y}{l} \\ z'' &= g - R\frac{z}{l} \\ l^2 &= x^2 + y^2 + z^2. \end{aligned} \tag{1}$$

Für das Prinzip der lebendigen Kraft erhält man:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - w^2(x^2+y^2) = 2\,g\,z + H, \tag{2}$$

wo H eine Konstante ist.

Außerdem erhält man aus den beiden ersten Gleichungen für das Prinzip der Flächen:

$$x y' - y x' = c + w(x^2+y^2). \tag{3}$$

Nach Einführung der Polarkoordinaten

$$\begin{aligned} x &= l \sin\psi \cos\Theta \\ y &= l \sin\psi \sin\Theta \\ z &= l \cos\psi \end{aligned} \tag{4}$$

und der hieraus folgenden Geschwindigkeiten:

$$\begin{aligned} x' &= l\cos\psi\cos\Theta\frac{d\psi}{dt} - l\sin\psi\sin\Theta\frac{d\Theta}{dt} \\ y' &= l\cos\psi\sin\Theta\frac{d\psi}{dt} + l\sin\psi\cos\Theta\frac{d\Theta}{dt} \\ z' &= -l\sin\psi\frac{d\psi}{dt} \end{aligned} \tag{5}$$

erhält man für die beiden Prinzipe:

$$l^2\left\{\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2 + \sin^2\psi\left(\frac{d\Theta}{dt}\right)^2 - w^2\sin^2\psi\right\} = 2\,g\,l\cos\psi + H. \tag{6}$$

$$l^2\sin^2\psi\frac{d\Theta}{dt} = c + w\,l^2\sin^2\psi. \tag{7}$$

Nun werde die bekannte Beziehung

$$\Theta - t\,w = \vartheta \tag{8}$$

eingeführt. Man erhält für (6) und (7):

$$l^2\left\{\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2 + \sin^2\psi\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2\right\} = 2\,g\,l\cos\psi + h \tag{9}$$

$$l^2\sin^2\psi\frac{d\vartheta}{dt} = c, \tag{10}$$

wenn $h = H - 2\,c\,w$ als neue Konstante gesetzt wird.

Diese Gleichungen sind identisch mit Gleichungen, welche auf ruhender Erde für das sphärische Pendel gelten, wobei Θ mit ϑ durch die Relation (8) verbunden ist. Hierdurch wird das Sinusgesetz am Nordpol bestätigt.

Für $\frac{d\vartheta}{dt} = 0$ in (9) und (10) erhält man den speziellen Fall der ebenen Schwingungen. Aus Beziehung (8) folgt dann $\frac{d\Theta}{dt} = w$.

Den Anfangszustand (Umkehrpunkt) eines auf rotierender Erde schwingenden Pendels charakterisieren wir durch die Festsetzungen:

$$\psi = \psi_0, \quad \left(\frac{d\psi}{dt}\right)_0 = 0, \quad \left(\frac{d\Theta}{dt}\right)_0 = \frac{d\Theta}{dt} = w.$$

Alsdann wird Gleichung (7) von selbst erfüllt und Gleichung (6) geht über in die Gleichung eines Kreispendels:

$$\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2 = \frac{2\,g}{l}(\cos\psi - \cos\psi_0),$$

so daß wir sagen können: die Schwingungsebene rotiert mit der Geschwindigkeit w um die Erdachse. Gleichzeitig sieht man, daß hierdurch die Schwingungsdauer nicht verändert wird.

In meinen Arbeiten habe ich den Fall eines sphärischen Pendels gar nicht behandelt; ich habe mich von vornherein auf den ideellen Fall des Foucaultschen Pendels beschränkt, daß die Schwingungen stets in einer vertikalen Ebene (Schwingungsebene) erfolgen. Wenn aber etwa durch die Versuchsanordnung dem sich bewegenden Körper der Zwang auferlegt wird, sich in einer senkrechten (für den Beobachter sich drehenden) Ebene zu bewegen, dann spielt die Coriolissche Kraft für die ideelle Ebene (bezw. für den Kreis, auf dem sich der Körper bewegt) nur die Rolle einer Reaktionskraft, die auf die Bewegung selbst ohne Einfluß ist; in den Bewegungsgleichungen darf man die Coriolissche Kraft selbstverständlich nicht fortlassen. Es kam mir vor allem darauf an, zu zeigen, daß bei der Erklärung der Drehung der Schwingungsebene eines Pendels einerseits die Zentrifugalkraft vollständig mit Unrecht vernachlässigt wird, andererseits die Coriolissche Kraft die Erklärung nicht liefern kann. Dabei kann der physikalische Sinn der Einführung dieser beiden fingierten Kräfte in folgender Weise gedeutet werden: Ein Physiker, der von der Erddrehung nichts

wüßte, würde aus der Beobachtung der Drehung der Schwingungsebene die instantane Zentrifugalkraft und aus der Bewegung des Körpers in dieser Ebene als einen Normalwiderstand der Bahn die Coriolissche Kraft folgern. Es hat aber keinen Zweck, bei dem Foucaultschen Pendelproblem von einer primären bzw. sekundären Ursache zu reden; denn die Erscheinung ist eine Folge der relativen Bewegung, die erst vollständig durch beide Kräfte, sowohl durch die Z-Kraft wie durch die C-Kraft bestimmt wird.

3. Bisher wurde dieses Problem in folgender Weise behandelt. Die betreffenden Gleichungen[1] lauten:

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -2w\sin\varphi\frac{dy}{dt}+\lambda x \\ \frac{d^2y}{dt^2} &= 2w\left(\sin\varphi\frac{dx}{dt}+\cos\varphi\frac{dz}{dt}\right)+\lambda y \\ \frac{d^2z}{dt^2} &= g-2w\cos\varphi\frac{dy}{dt}+\lambda(z+l) \\ l^2 &= x^2+y^2+(l+z)^2. \end{aligned} \tag{11}$$

Diese Gleichungen unterscheiden sich von denjenigen für eine ruhende Erde geltenden nur durch die Glieder der Coriolisschen Kraft, so daß diese Kraft für die Erscheinung am Foucaultschen Pendel als die einzige Ursache angesehen wird.

Aus diesen Gleichungen werden dann näherungsweise die beiden folgenden Gleichungen gefolgert:

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2=-\frac{g}{l}(x^2+y^2)+H \tag{12}$$

$$x\frac{dy}{dt}-y\frac{dx}{dt}=c+w\sin\varphi\,(x^2+y^2). \tag{13}$$

Um die verschiedenen Größen miteinander als reine Zahlen vergleichen zu können, denken wir uns im folgenden die Längen mit dem Faktor $\frac{1}{l}$, die relativen Geschwindigkeiten mit $1/\sqrt{\frac{1}{2}lg}$, die Winkelgeschwindigkeiten mit $\sqrt{\frac{2l}{g}}$ multipliziert.[2] Bei der Rechnung werden x, y, sowie $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$ als kleine Größen 1. Ordnung behandelt.

Durch die Substitution

$$x=r\cos\Theta,\quad y=r\sin\Theta$$

gehen die Gleichungen (12) und (13) über in:

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r^2\left(\frac{d\Theta}{dt}\right)^2=-\frac{g}{l}r^2+H. \tag{14}$$

$$r^2\frac{d\Theta}{dt}=c+r^2w\sin\varphi. \tag{15}$$

Durch Einführung von

$$\Theta-tw\sin\varphi=\vartheta \tag{16}$$

folgt:

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+r^2\left\{\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2+w^2\sin^2\varphi\right\}=-\frac{g}{l}r^2+h. \tag{17}$$

$$r^2\frac{d\vartheta}{dt}=c. \tag{18}$$

Wenn die bisherigen Rechnungen als einwandfrei vorausgesetzt werden, so ist jedenfalls die weitere Schlußfolgerung, die auf der Vernachlässigung des Gliedes $w^2\sin^2\varphi$ in Gleichung (17) beruht, ganz willkürlich.

Diese Vernachlässigung kommt darauf hinaus, daß in dem Quadrat der Beziehung

$$\frac{d\Theta}{dt}=\left(1+\frac{w\sin\varphi}{\frac{d\vartheta}{dt}}\right)\frac{d\vartheta}{dt}$$

das Glied

$$\frac{w^2\sin^2\varphi}{\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2}=\varepsilon^2$$

als klein 2. Ordnung vernachlässigt wird.

Da

$$\frac{w\sin\varphi}{\frac{d\vartheta}{dt}}=\varepsilon$$

klein 1. Ordnung vorausgesetzt wird, so ist bei endlichem $\frac{d\vartheta}{dt}$ die Winkelgeschwindigkeit $w\sin\varphi$ klein 1. Ordnung. Mithin ist das Glied

$$w\sin\varphi\,(x^2+y^2)$$

in Gleichung (13) eine kleine Größe 3. Ordnung. Da die linke Seite als eine Größe 2. Ordnung vorausgesetzt wird, so muß man konsequenterweise das Glied 3. Ordnung fortlassen. Durch die Festsetzung, daß $\frac{d\vartheta}{dt}$ gegen $w\sin\varphi$ bedeutend groß sein soll, werden übrigens kleine Geschwindigkeiten von der Betrachtung ausgeschlossen. Läßt man den Kunstgriff nicht gelten, daß man in Gleichung (13) neben Größen 2. Ordnung noch eine Größe 3. Ordnung beibehält, so wird man aus den übrig bleibenden Gleichungen mit Größen 2. Ordnung wohl nicht mehr die Coriolissche Kraft als die „primäre" Ursache der Drehung der Schwingungsebene ansehen können.

4. Indes ist es nicht nötig, $w\sin\varphi$ als kleine Größe 1. Ordnung in die Rechnung einzuführen, wenn man in dem Prinzip der lebendigen Kraft noch die instantane Rotationsenergie berücksichtigt; dann hat man näherungsweise die Gleichung:

1) G. Kirchhoff, Mechanik, S. 93, 3. Auflage; W. Voigt, Elementare Mechanik, S. 112, 2. Auflage.

2) W. Voigt, l. c.

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\Theta}{dt}\right)^2 - r^2w^2\sin^2\varphi - r^2w^2\cos^2\varphi\sin^2\Theta = 2gz + H. \quad (19)$$

Ist ψ die Amplitude des Pendels, so werde $r = l\psi$, ferner $\frac{d\Theta}{dt} = w\sin\varphi$ gesetzt, und man erhält für kleine Werte von ψ und $\Theta = tw\sin\varphi$ als Gleichung des Problems:

$$\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2 = \frac{2g}{l}(\cos\psi - \cos\psi_0).$$

D. h. die Schwingungsdauer wird in erster Annäherung von der Erddrehung nicht beeinflußt.

5. Diese neuen Entwicklungen bestätigen nur meine früheren Auseinandersetzungen, vor allem den Umstand, daß auch bei einer allgemeineren Auffassung des Problems die instantane Zentrifugalkraft, wie es bisher geschah, nicht vernachlässigt werden darf.

Die in diesen Blättern (**6**, 556, 677, **7**, 199) mit Herrn Tesar durchgeführte Polemik zeigt, zu was für verwickelten, unhaltbaren Hypothesen die Festhaltung an der Coriolisschen Kraft als der „primären Ursache" der scheinbaren Drehung der Schwingungsebene eines Pendels führt. Die Einwände meiner Gegner kommen schließlich auf dasselbe hinaus. Herr Rudzki (**6**, 679, Ann. d. Phys. **18**, 1070, 1905) hält die Zentrifugalkraft für einen Teil der Schwerkraft, Herr Tesař (Ann. d. Phys. **19**, 613, 1906) denkt sich diese fingierte Kraft durch eine wirkliche Drehung des sich bewegenden Körpers um die instantane Achse erzeugt. Wie ich bereits gezeigt habe (Ann. d. Phys. **19**, 868, 1906), beruhen beide Anschauungen auf einer Verwechslung des Zustandes der Ruhe mit dem der Bewegung.[1])

1) Vgl. demnächst: Sitzungsber. der Berl. mathem. Gesellschaft, 1906.

Charlottenburg, Mai 1906.

(Eingegangen 4. Mai 1906.)

Kontinuierliche Tonreihe aus Resonatoren mit Resonanzböden.

Von M. Th. Edelmann.

Die Helmholtzschen Kugelresonatoren dienen bekanntlich zur Analyse von Klängen, welche von der Schallquelle aus bereits in die Luft übergegangen sind. Zum Abhorchen von Schwingungen, welche feste Körper, z. B. der Stiel einer Stimmgabel, die verschiedenen Orte einer Kirchenglocke etc. ausüben, sowie zu manchen anderen akustischen Versuchen kann man vorteilhaft die nachstehend beschriebene Modifikation dieses Apparates verwenden.

Kreis *a b c*, Fig. 1, zeigt den Schnitt durch

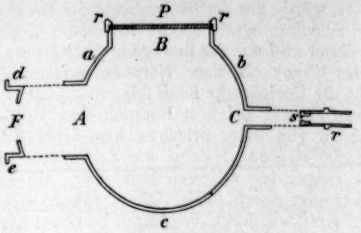


Fig. 1.

eine Hohlkugel aus millimeterstarkem Messingblech. An diese Hohlkugel sind drei Tubuli *A B C* angesetzt, von denen zunächst der Tubulus *A* wie beim Helmholtzschen Resonator als Schallöffnung dient.

Jedem Resonator ist nun eine Reihe (12 bis 18 Stück) Diaphragmen *d e* beigegeben, welche in den Tubulus *A* passen und, hier eingesetzt, vermöge ihrer entsprechend variierten Lochweiten *f* den Eigenton jedes Resonators innerhalb gewisser Grenzen genau von Halb- zu Halbton fortschreitend verändern.

Über dem zweiten Tubulus *B* ist durch den Überschraubring *r r* eine dünne kreisrunde Platte *P* aus Resonanzholz luftdicht aufgesetzt, welche zur Schallübertragung auf den im Resonator eingeschlossenen Luftraum dient.

Die Behorchung dieses Luftraumes endlich geschieht unter Vermittelung des dritten Tubulus *C*.

Zur Darstellung aller zweiundsiebzig halben Töne, welche innerhalb der sechs Oktaven C_1 bis c_4 (von 32,33 bis 2068,6 v. d.) liegen, genügen fünf Resonanzkugeln von je 350, 150, 80, 45 und 30 mm Durchmesser (Fig. 2). Die zweiundsiebzig beigegebenen Diaphragmen *a b c d e* der verschiedenen Größen sind der leichteren Ordnung und Anwendung halber reihenweise zu je zwölf Stück (je eine Oktave) in sechs entsprechend gelochte Holzstreifen eingelegt.

Zum Behorchen der Resonatoren eignet sich am besten ein weicher Gummischlauch *r* (Fig. 2) von etwa 50 cm Länge und 7 mm Weite, der, schwach konisch auf einem schnell laufenden Smirgelrade gerandet und in den äußeren Gehörgang eingeführt, hier gut festhält. Das andere Ende dieses Gummischlauches wird über einen Rohrstutzen *r* (Fig. 1) gestülpt, welcher in jeden der Tubuli *C* der Resonatoren paßt. Die Einmündung dieses Hörrohres in den Resonator bildet ein mit einem kleinen Loch *s* versehenes Diaphragma.

Die Anwendung dieser Resonatoren geschieht entweder dadurch, daß man wie bei den Helmholtzschen Resonatoren die Schall-

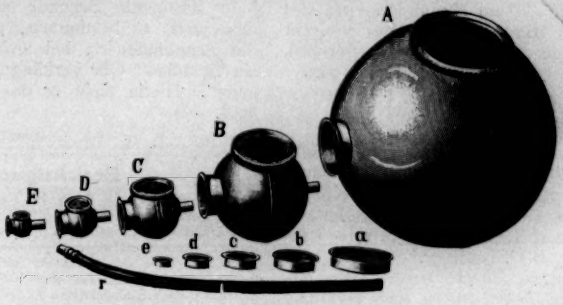


Fig. 2.

öffnung in den Bereich der zu untersuchenden Luftschwingungen verlegt, oder indem man die Tonquelle selbst auf den Resonanzboden setzt; auch kann man unter Vermittelung eines Holzstäbchens usw. die Tonquelle in schalleitende Verbindung mit der Mitte des Resonanzbodens bringen.

Behufs Abstimmung und Kontrolle der Eigentöne der Resonatoren nimmt man den Hörschlauch ins Ohr und klopft dann mit der Fingerspitze oder mit einem leichten hölzernen Schlägel gegen den Resonanzboden. Die tiefen Töne erfordern zu ihrer Erregung recht weiche Belegung (Tuch, Filz) des Schlegels oder Resonanzbodens. Alle Halbtöne klingen unisono mit den entsprechenden Tönen der bekannten Bezoldschen Tonreihe aus meiner Werkstätte.

München, 1. Juni 1906.

(Eingegangen 3. Juni 1906.)

BESPRECHUNGEN.

Hans Lorenz, Lehrbuch der technischen Physik. II. Bd. Technische Wärmelehre. gr. 8. XIX u. 545 S. mit 136 in den Text eingedrucken Abbildungen. München, R. Oldenbourg. 1904. M. 13,—, geb. M. 14,—.

In dem vorliegenden Buch hat der Verfasser die Wärmelehre, so, wie sie vorzüglich für den Ingenieur geeignet ist, zusammengestellt. Von den Klassikern der Thermodynamik hatte besonders G. Zeuner sich ein ähnliches Ziel gesteckt und es s. Z. vollauf erreicht, wie die zahlreichen Auflagen seines Buches zeigen. Gleichwohl ist das Lorenzsche Buch als eine wertvolle Neuerscheinung auf diesem Gebiete zu begrüßen, da es einesteils manche, sozusagen etwas „steifgewordene" Darstellung der älteren, technischen Thermodynamik frischer und lebendiger wiedergibt, und anderenteils die neueren technischen Arbeiten anführt, z. B. in den Kapiteln über Gasströmung, physikalische Daten von Dämpfen, Kaltdampfmaschinentheorie.

Das Kapitel V trägt einem Bedürfnis der Ingenieure Rechnung, es behandelt die Thermodynamik chemisch-technischer Prozesse.

Eine weitere Neuerung ist die Einbeziehung der Wärmestrahlung in das Buch (Kapitel VI).

In dem letzten Kapitel ist ein interessanter „Abriß der geschichtlichen Entwicklung der Wärmelehre" gegeben. Der „Gesetzgeber der Natur" ist darin sehr anschaulich bei seiner Arbeit geschildert. H. Hort.

(Eingegangen 23. April 1906.)

A. Föppl, Vorlesungen über technische Mechanik. gr. 8. Leipzig, B. G. Teubner.

I. Einführung in die Mechanik. 3. Aufl. XVI u. 428 S. mit 103 Figuren im Text. 1905. Geb. M. 10,—.

III. Festigkeitslehre. 3. Aufl. XVI u. 434 S. mit 83 Figuren im Text. 1905. Geb. M. 12,—.

Von der dritten Auflage des bekannten Lehrbuches der technischen Mechanik liegt hiermit der erste und dritte Band fertig vor. Die vorgenommenen Änderungen gegenüber der zweiten Auflage bestehen beim ersten Band vorwiegend in „schärferer und reicherer Herausarbeitung der Einzelausführungen"; beim dritten Band in einer, durch Beschränkung auf das, „was in einer allgemeinen Vorlesung über Festigkeitslehre wirklich vorgetragen werden kann", erreichten Kürzung um 78 Seiten. Der hierbei

fortgefallene Stoff soll um ein übriges vermehrt in einem fünften Bande Platz finden, welcher der dritten Auflage neu hinzugefügt werden soll.

G. Herglotz.

(Eingegangen 5. Mai 1906.)

Otto Fischer, Über die Bewegungsgleichungen räumlicher Gelenksysteme. (Abhandlungen der math.-phys. Klasse der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften, Bd. 19, Nr. 4.) Lex. 8. 88 S. mit 6 Figuren. Leipzig, B. G. Teubner. 1905. M. 3,50.

Die Gleichungen, durch welche man aus den beobachteten Bewegungen eines Systems gelenkig verbundener Massen die dabei wirkenden Kräfte berechnen kann, sind schon früher von dem Verfasser mit besonderer Berücksichtigung des menschlichen Ganges für ein- und mehrgelenkige Systeme bestimmt worden, in welchen die Bewegungen nur in einer Ebene stattfinden.

Gerade bei der menschlichen und tierischen Lokomotion sind aber Gelenke von höherem „Freiheitsgrade" im Spiele, durch welche die Bewegungen nicht nur auf eine Ebene beschränkt bleiben, sondern im Raume stattfinden. Das vorliegende Heft beschäftigt sich mit der Ableitung der Bewegungsgleichungen für solche „räumlichen" Gelenksysteme, welche mit Hilfe des Begriffs der „Hauptpunkte" derartig reduziert werden, daß für das zweigliedrige räumliche Gelenksystem die Ableitung völlig durchgeführt ist; ein Schlußabschnitt zeigt, wie sich die Methode noch allgemeiner ausdehnen läßt.

Diese bewunderungswürdige Arbeit ist gleich bedeutend vom physiologischen, wie vom rein kinematischen Gesichtspunkt aus, und selbst für die technisch angewandte Mechanik beachtenswert, wenngleich hier die Bewegungsfreiheit selbst der vielgliedrigsten Systeme im Verhältnis äußerst beschränkt zu sein pflegt. — Boruttau.

(Eingegangen 4. Juni 1906.)

P. Ostmann, Ein objektives Hörmaß und seine Anwendung. gr. 8. IX u. 75 S. mit 9 Kurventafeln. Wiesbaden, J. F. Bergmann. 1903. M. 5,—. (Besprechung versehentlich verspätet.)

Der Verfasser bezeichnet als Normalamplitude diejenige (mittels Mehlstaubs, s. d. Original, gemessene) Schwingungsamplitude einer Stimmgabel der Bezold-Edelmannschen Reihe von C bis c^4, bei welcher der Ton für ein „normales" Ohr gerade eben verklingt. Die Zeit variiert dabei zwischen 2 und 5 Sek. Für jede bestimmte Sekunde sucht er nun (als Ohrenarzt) zu bestimmen, um wieviel größer die Amplitude ist, bei welcher der Ton für ein „krankes" Ohr verklingt, als für das „normale". Hierin sieht er das „objektive" Hörmaß. — Boruttau.

(Eingegangen 4. Juni 1906.)

Berichtigung.

Der Artikel des Herrn H. Fischer, Praktikant am elektrotechnischen Institut der Münchener Technischen Hochschule[1]), über elektrostatische Spannungszeiger auf Seite 376 dieser Zeitschrift ist wegen plötzlicher Erkrankung mit nachfolgendem Tode des Verfassers leider in seiner ursprünglichen Fassung ohne die vom Verfasser gelegentlich der Korrektur noch beabsichtigten Änderungen zum Abdruck gelangt. Dem Unterzeichneten hatte der Verfasser, ebenso wie meinem Kollegen Ebert, eine Kopie des eingesandten Artikels mit der Bitte übergeben, ihm bei seiner ersten Arbeit behilflich zu sein, etwaige Unklarheiten im Ausdruck zwecks Verbesserung anzugeben. Dies ist auch geschehen, doch unterblieb die von ihm beabsichtigte Richtigstellung einiger Stellen mit unklarer Fassung aus dem oben angeführten Grunde. U. a. läßt die ursprüngliche, auf Seite 377 abgedruckte Fassung nicht erkennen, daß die zitierte Stelle aus dem 2. Bande des Handbuches der Elektrotechnik schon etwa 1 Jahr früher gedruckt war, ehe sich Herr Fischer auf meine Anregung mit jener Untersuchung über elektrostatische Meßinstrumente zu befassen anfing. Leider wurde er durch seinen plötzlichen Tod verhindert, seine angefangenen Arbeiten auf diesem Gebiete zu Ende zu führen, die er mit großem Eifer verfolgte. C. Heinke.

1) In diesem Sinne ist die Personalnotiz in No. 12 auf Seite 432 richtig zu stellen, da sie verschiedene Unrichtigkeiten enthält.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

An der Universität Berlin **habilitierte** sich Professor Dr. Walter Loeb (früher in Bonn) für physikalische Chemie, an der Universität Zürich Dr. Alfred de Quervain (früher in Straßburg) für Meteorologie und Geophysik, an der Universität München Dr. Oskar Perron für Mathematik, an der Technischen Hochschule in Berlin Dr. Willy Hinrichsen (früher in Aachen) für Mathematik. Beauftragt wurde mit der Abhaltung von Vorlesungen über angewandte wissenschaftliche Photographie an der Universität Berlin Direktor Dr. W. Scheffer von der optischen Anstalt Goerz.

Professor Dr. Paul Gruner wurde zum etatmäßigen a. o. Professor für theoretische Physik in Bern (nicht in Basel, wie wir in No. 12, S. 432, 1906 irrtümlich meldeten), Dr. Fritz Reichert zum Professor der analytischen Chemie in Buenos-Aires, Dr. Robert Kahn zum Vorsteher des organischen Laboratoriums der Chemieschule in Mülhausen **ernannt**.

Verliehen wurde dem außerordentlichen Professor für physikalische Chemie an der Universität Berlin Dr. Johannes Jahn der Charakter als Geheimer Regierungsrat.

Die Demission des Professors für organische und anorganische sowie technologische Chemie an der Universität Genf Dr. Carl Graebe zum 1. Oktober 1906 wurde unter Verleihung des Titels eines Honorarprofessors genehmigt.

Am 5. Juli 1906 **starb** der ordentliche Professor für Physik und Direktor des physikalischen Instituts der Universität Berlin Dr. Paul Drude und der frühere langjährige Professor der Mechanik und Maschinenlehre an der Berliner Bergakademie, Geheimrat Adolf Hörmann.

Für die Redaktion verantwortlich Privatdozent Dr. Emil Bose in Göttingen — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.